



**LA POLITIQUE CLIMATIQUE ENTRE CHOIX
NATIONAUX ET SCENARIOS MONDIAUX**
Implications des positionnements cognitifs et éthiques
Olivier Godard

► **To cite this version:**

Olivier Godard. LA POLITIQUE CLIMATIQUE ENTRE CHOIX NATIONAUX ET SCENARIOS MONDIAUX Implications des positionnements cognitifs et éthiques. 2014. hal-01089197

HAL Id: hal-01089197

<https://hal.science/hal-01089197>

Preprint submitted on 1 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ÉCOLE POLYTECHNIQUE

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



LA POLITIQUE CLIMATIQUE ENTRE CHOIX NATIONAUX ET
SCENARIOS MONDIAUX

Implications des positionnements
cognitifs et éthiques

Olivier GODARD

Janvier 2014

Cahier n° 2014-28

DEPARTEMENT D'ECONOMIE

Route de Saclay

91128 PALAISEAU CEDEX

(33) 1 69333033

<http://www.economie.polytechnique.edu/>

<mailto:chantal.poujouly@polytechnique.edu>

La Politique climatique entre choix nationaux et scénarios mondiaux

*Implications des positionnements
cognitifs et éthiques*

Olivier Godard

Janvier 2014

Remerciements

Je remercie chaleureusement les collègues qui ont accepté de lire et commenter des versions antérieures de ce texte, et plus particulièrement Patrice Dumas et Antonin Pottier au CIRED, Ghislain Dubois à TEC, Robert Kast au LAMETA et Jean Jouzel au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement/ Institut Pierre Simon Laplace

Résumé

Cet ouvrage analyse la manière dont des stratégies nationales de lutte contre l'effet de serre peuvent se déterminer en fonction des positionnements cognitifs et éthiques des États nationaux au regard de scénarios climatiques mondiaux. Sont ainsi distinguées les approches cognitives de type « prédictif », « thomiste » ou « symétrique », croisées avec des positionnements éthiques désignés comme « égocentrique », « altruiste-dynastique », « solidariste intragénérationnel », « altruiste cosmopolitique » et « universaliste kanto-millien ». Pour évaluer ces configurations on suppose que les choix faits par un État s'appuient sur une évaluation des dommages climatiques associés à différents scénarios de concentration de gaz à effet de serre. Les indicateurs centraux utilisés sont la valeur actuelle du dommage entraîné par l'émission d'une tonne de CO₂ et le niveau du taux d'actualisation.

Dans ce cadre classique où se met à l'épreuve le concept de dommages pour appréhender des phénomènes de long terme, l'évaluation détermine quelles configurations cognitivo-éthiques justifient la cible du « Facteur 4 » en 2050 : il en existe un nombre réduit, relevant soit d'un « altruisme cosmopolitique (international et intergénérationnel) », soit d'un « universalisme kanto-millien », si cette cible est choisie en fonction du seul problème climatique. En postulant qu'une valeur de 100 € / tCO₂ en 2030 est un point de passage obligé vers le « Facteur 4 » en 2050, de tels choix éthiques impliquent la reconnaissance d'une valeur actuelle 2010 d'un niveau élevé pour le dommage entraîné par l'émission d'une tonne de CO_{2e} (au moins 53 € / tCO₂, soit un ordre de grandeur supérieur au prix 2013 du carbone sur le marché ETS) et l'adoption d'un taux d'actualisation caractéristique qui, dépendant des configurations étudiées, ne saurait être plus élevé que 3,25 %. De telles valeurs doivent être considérées comme des conditions logiques à respecter pour tous les choix dérivés et en particulier lorsqu'il s'agit de déterminer la meilleure trajectoire intertemporelle de réduction des émissions.

Autre résultat : en prenant en compte l'incidence de la date d'émission sur le dommage climatique, il s'avère qu'« altruisme cosmopolitique » et « universalisme kanto-millien » conduisent à des recommandations strictement opposées quant au profil de la meilleure trajectoire temporelle de « consommation » d'un budget d'émissions fixé pour la période 2011-2050 : le premier demande de concentrer les émissions en début de période et le second de débiter par un « choc de réduction ». Au total aucune des configurations justifiant la cible du « Facteur 4 » ne s'accorde avec l'application simple d'une règle de Hotelling qui ferait progresser la valeur de la tonne de CO₂ au taux d'actualisation standard pour l'investissement public.

Mots-clés : changement climatique, éthique climatique, choix nationaux, scénarios climatiques mondiaux, dommages climatiques, valeur du carbone, France, trajectoires d'émissions, règle d'Hotelling

Abstract

This work analyzes how national strategies designed to address the sources of climate change are framed by cognitive and ethical positions of national governments when scrutinizing global climate scenarios. Various settings are thus distinguished by combining cognitive approaches called “predictive”, “Thomist” and “symmetrical”, with normative orientations qualified as “egocentrism”, “dynastical altruism”, “intragenerational solidarity”, “cosmopolitanist (international and intergenerational) altruism” and “kanto-millian universalism”. To assess these configurations it is assumed that the choices made by a State are based on a valuation of climate damages associated with different concentration scenarios of greenhouse gas emissions. The core indicators then used are the present value of the damage caused by the emission of one ton of CO₂ and the level of the discount rate.

In this standard context of assessment, which gives the opportunity of testing the relevance of the damage concept to tackle long term evolutions, the study identifies which cognitive-ethical configurations do justify the “Factor 4” target of emissions abatement by 2050: there are indeed a small number of them, all placed under the command of a “cosmopolitanist altruism” or a “kanto-millian universalism”, if the “Factor 4” target is selected in view of the climate change issue alone. Such ethical choices have consequences: the 2010 present value of climate damage per emitted CO₂ ton should be high (at least 53 € / tCO₂, i.e. one order of magnitude higher than 2013 carbon prices on the European carbon market) and the reference discount rate, depending on the configurations studied, should not be higher than 3.25 %. Such values should be considered as logical constraints for all dependent choices and specifically when determining the best path for intertemporal emission abatement on the 2011-2050 period.

Another result of the study is striking: taking into account the impact of the CO₂ emission date on the climate damage caused, it appears that “cosmopolitanist altruism” and “kanto-millian universalism” lead to strictly opposed recommendations as how to profile the best time path of “consumption” of an emissions budget allocated for the period 2011-2050: the first one asks to concentrate the bulk of emissions on the beginning of the period whereas the second asks to begin with an “abatement shock” during the early years of the period. Anyway none of alternative configurations that can justify the “Factor 4” target is in agreement with the course resulting from a straight application of a Hotelling rule that would increase yearly the value of a ton of CO₂ at the standard discounting rate used for public investment.

Key words: climate change, climate ethics, national policies, global climate scenarios, climate damages, carbon value, France, trajectories of emission abatement, Hotelling rule

Chapitre 1

Le problème

La perturbation climatique planétaire en cours et encore plus celle anticipée pour l'avenir résulte d'un double déséquilibre affectant le cycle du carbone et l'équilibre thermique planétaire dans et entre les différents compartiments (atmosphère, océans, terres) de la géosphère. Il en résulte à la fois un accroissement de la température de la basse atmosphère et un réchauffement et une acidification des océans, avec leurs conséquences multiples (incidence sur les régimes pluviométriques, niveau de la mer, événements extrêmes, etc.). À l'origine de ces déséquilibres se trouve le niveau croissant de concentration atmosphérique de gaz à effet de serre (GES)¹ attribuable aux émissions de ces gaz par les activités humaines.

C'est donc un phénomène de stock qui se trouve à l'origine des dommages climatiques variés annoncés par les climatologues. Ces dommages ne dépendent qu'indirectement des flux annuels d'émission de GES. Toutefois, il est difficile pour des pays de calibrer leur action directement dans les termes de la concentration atmosphérique des GES puisque cette dernière reflète le résultat d'ensemble de l'action combinée de tous les pays et des processus naturels. Aussi les gouvernements ont-ils d'abord privilégié l'énonciation d'objectifs définis à partir d'une variable qu'ils peuvent *a priori* mieux contrôler de façon directe en mettant en place des politiques appropriées. Cette variable, ce sont les émissions de GES que les gouvernements s'attachent à situer par rapport à des cibles de concentration atmosphérique de GES. C'est ainsi que sont nées des formulations d'objectifs comme le « Facteur 4 » à l'horizon 2050, pour désigner des politiques ambitionnant d'atteindre à cet horizon un niveau d'émissions de GES quatre fois plus petit que celui constaté en 1990.

¹ Il s'agit principalement des 6 gaz retenus par le Protocole de Kyoto : gaz carbonique (CO₂), de loin le plus important à long terme, le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), et trois composés fluorés.

Le premier but de ce livre est d'examiner la manière dont un État peut se positionner pour articuler ses choix de politique climatique aux scénarios mondiaux d'émission et de concentration de GES. Cet examen suppose que la question climatique est prise pour elle-même et pas pour d'autres enjeux périphériques touchant à la géopolitique de l'énergie, à la diplomatie ou aux équilibres politiques internes au pays. La question du choix des politiques climatiques nationales se pose de manière frontale depuis le changement d'approche internationale opéré lors de la Conférence de Copenhague en décembre 2009 : en lieu et place d'une approche politique intégrée à l'échelle mondiale visant à déterminer une répartition définie des efforts et des droits respectifs à émission de GES, dite approche *top-down*, l'Accord de Copenhague a consacré une approche dite *bottom-up*. Cette dernière laisse à chaque État le soin de déterminer de façon souveraine et indépendante ses objectifs de maîtrise des émissions, puis de les communiquer à la communauté internationale. Un ensemble de règles communes pour les activités d'identification des actions et de rapportage des performances obtenues s'y sont greffées, de même que des dispositions particulières pour le transfert de techniques et l'abondement de financement au bénéfice des pays en développement (Auverlot et al., 2010 ; Dahan et al., 2010 ; Godard, 2011b).

Chaque pays s'est ainsi vu reconnaître la responsabilité propre de fixer ses objectifs de maîtrise à long terme de ses émissions de GES et de choisir la trajectoire pour les atteindre. Pour les États-membres de l'Union européenne, cette responsabilité et cette liberté sont néanmoins encadrées par le droit communautaire en vigueur. Il y a d'un côté la fixation d'objectifs à l'horizon 2020 (une réduction de leurs émissions de 20 % par rapport à leur niveau de 1990) et de l'autre côté l'évolution des règles d'organisation du marché européen de quotas de CO₂. Se met en place une extension progressive de la part des allocations de quotas mises aux enchères pour les activités industrielles grandes émettrices, sachant que les producteurs d'électricité sont soumis à cette procédure depuis 2013.

Les rapports entre les stratégies nationales et les scénarios mondiaux de maîtrise des GES ont souvent été abordés de divers points de vue : la faisabilité technologique et économique (Pacala & Socolow, 2004), la justice climatique (Vanderheiden, 2008 ; Gardiner, Caney, Jamieson & Shue, 2010 ; Godard, 2011a), l'acceptabilité politique (Posner & Weisbach, 2010 ; Pickering & Barry, 2012), ou les perspectives de formation de coalitions de pays voulant œuvrer à la préservation de ce bien public planétaire (Bosetti et al., 2013). En revanche le jeu existant entre les deux niveaux (stratégies nationales, scénarios mondiaux) n'a guère été exploré ou du moins pas de façon systématique, sous le double aspect des positionnements cognitifs et des cadres éthico-normatifs qui s'offrent à un pays donné pour structurer l'évaluation de la part des dommages encourus qui lui sont imputables. Ce livre entend combler ce manque.

Cela est fait en calant la représentation des données climatiques sur le rapport du GIEC de 2007² et sur d'autres publications scientifiques récentes³ concernant les liens entre les émissions de GES, la concentration atmosphérique de ces gaz et l'évolution possible des températures moyennes de la basse atmosphère terrestre. S'agissant de l'évaluation économique, le parti a été pris de la centrer sur l'évaluation agrégée des dommages climatiques en fonction des niveaux de concentration atmosphérique des GES. Ce faisant, la démarche s'inscrit dans le cadre standard de l'analyse économique entendant identifier l'action rationnelle au croisement de l'évaluation des bénéfices (les dommages évités par une action) et des coûts des actions envisageables. Les raisons de ce choix sont apportées en Annexe 2. Pour la fonction de dommages climatiques, je me suis appuyé sur les valeurs les plus élevées des estimations de dommages obtenues à l'aide du modèle DICE par William Nordhaus⁴ (Nordhaus & Boyer, 2000 ; Newbold, 2010), qui comptent également parmi les plus élevées disponibles parmi les évaluations reconnues, comme le rapport Stern (2006).

Cette exploration permettra de mieux appréhender les « bonnes raisons » des choix nationaux et de comprendre leur écart éventuel avec les recommandations sur ce que devraient être les choix de l'humanité, prise globalement. Plus précisément elle permettra de cerner les conditions de justification d'une cible comme la division par quatre des émissions des pays d'ancienne industrialisation à l'horizon 2050 (le « Facteur 4 »). Par voie de conséquence, elle permettra également de repérer les raisonnements logiquement admissibles pour déterminer la trajectoire intertemporelle d'émission de GES que ces pays devraient suivre pour atteindre cette cible. Cette cible du « Facteur 4 » sera donc le point focal de la réflexion proposée : quelles sont les configurations cognitivo-éthiques pouvant justifier la cible du « Facteur 4 » ? Quelles en sont les implications pour les choix dérivés, notamment celui de la trajectoire de réduction des

² Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution des climats (IPCC en anglais) est l'instance d'expertise scientifique, technique et socio-économique constituée fin 1988 à l'initiative de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Depuis 1992, le GIEC est l'instance d'expertise scientifique venant éclairer la mise en œuvre de la Convention-cadre sur le changement climatique. Depuis 1990 le GIEC a remis quatre rapports complets faisant le point sur les connaissances relatives aux aspects physiques et socio-économiques du changement climatique : 1990, 1995, 2001, 2007 ; la publication du cinquième sera étalée entre fin 2013 et 2014. Les calculs présentés dans ce livre ont été réalisés avant la publication de ce cinquième rapport.

³ La littérature scientifique de base prise en compte s'arrête pour l'essentiel fin 2012.

⁴ Nordhaus est l'un des économistes américains les plus connus dans le champ de l'économie de l'énergie et du climat. Ses analyses et évaluations ont été influentes depuis ses premiers articles sur le sujet au milieu des années 70. Dans les années 90 elles ont contribué à dissuader le gouvernement américain de s'engager dans une politique vigoureuse de réduction des émissions des États-Unis.

émissions entre 2010 et 2050 ? Peut-on se contenter d'appliquer la règle économique de référence, appelée règle d'Hotelling, à une valeur de départ de la tonne de CO₂ en 2010 pour piloter cette trajectoire ?

Le chapitre 2 plantera le contexte de la politique climatique internationale, expliquant notamment le glissement de cibles d'émissions à l'horizon 2050 vers la définition de budgets d'émission pluri-décennaux. Le chapitre 3 présentera brièvement l'exemple du contexte français pour situer l'ampleur des différences apportées par trois stratégies possibles : le laisser-aller (BAU), une cible « Facteur 2.6 » et une cible « Facteur 4 » pour 2050. Le chapitre 4 traitera du thème principal de cet ouvrage, l'articulation entre stratégies nationales et scénarios mondiaux. Il définira d'abord le problème et le cadre d'analyse, puis introduira les trois types de positionnements cognitifs retenus, désignés comme « prédictif », « thomiste » et « symétrique », ainsi que les trois bases possibles d'imputation de dommages à un pays donné à raison de ses émissions sur la période 2011-2050. Ensuite seront introduits les différents cadrages éthico-normatifs considérés, de « l'égocentrisme international et intergénérationnel » à « l'universalisme kanto-millien », en passant par le « patriotisme empreint d'altruisme dynastique », le « solidarisme international intragénérationnel » et différents degrés « d'altruisme cosmopolitique (international et intergénérationnel) ». Le chapitre 5 présentera les choix concernant deux paramètres essentiels de l'évaluation : le choix de l'horizon temporel, qui fait l'objet d'une discussion assez approfondie du point de vue normatif, et la fonction de réponse du système climatique. Le chapitre 6 livrera les résultats chiffrés de l'évaluation des dommages imputables à un pays quelconque Y pour les quelque 1000 configurations étudiées. Le chapitre 7 proposera une analyse et des commentaires de ces résultats. Le chapitre 8 envisagera le problème de la meilleure trajectoire d'émissions à suivre d'ici 2050 et mettra en évidence les conséquences opposées des deux cadrages pouvant justifier le « Facteur 4 ». Le chapitre final récapitulera les principales leçons tirées. Trois annexes apportent des éléments complémentaires : l'annexe 1 détaille les notations et récapitule les fonctions et formules utilisées ; l'annexe 2 est dédiée aux scénarios planétaires et précise hypothèses et données complémentaires de calcul ; l'annexe 3 donne en 24 tableaux les résultats quantitatifs complets de l'évaluation de la valeur du dommage imputable, par tonne de CO_{2e}, aux émissions de GES d'un pays en fonction des scénarios mondiaux et des cadrages cognitivo-normatifs.

Chapitre 2

Le contexte : vers l'introduction de la notion de budget pluridécennal de carbone par pays

La formulation d'objectifs et de cibles pour une politique climatique doit satisfaire deux exigences : faire sens par rapport au problème à résoudre, tel qu'il peut être appréhendé par les scientifiques, et se définir au plus près des logiques d'action. Ces dernières dépendent du spectre des variables sur lesquelles les acteurs et en premier lieu des États peuvent exercer une influence forte, si ce n'est un contrôle. De plus il faut à cette politique pouvoir tenir compte de l'évolution des représentations scientifiques du problème. Ces exigences ont été la source d'hésitations et de reformulations des cibles à viser.

2.1. Le débat sur les concentrations-cibles de GES

En adoptant la Convention-cadre sur les changements climatiques en 1992 la communauté internationale s'est fixé un but général : éviter une interférence dangereuse avec le climat de la planète. Pour y parvenir une question a été débattue avec vigueur : l'humanité devait-elle viser une concentration atmosphérique de GES de 350, 450, 550, 700 ppm⁵ de CO_{2e}⁶ ou davantage encore ?

Alors que nombre d'économistes américains dans les années 1990 (par exemple Nordhaus, 1992 ; Manne et Richels, 1995) décrivaient un scénario mondial « optimal » — alternativement un scénario « coopératif » —

⁵ La « ppm » est l'unité de mesure de concentration des gaz ; elle signifie « partie par million en volume ». La concentration atmosphérique des GES était de 278 ppm en 1750 (Agence européenne de l'environnement).

⁶ Le CO_{2e} est une unité de mesure transversale aux différents GES ; elle signifie « équivalent-CO₂ » et compte chaque gaz en fonction de son potentiel d'impact sur le réchauffement planétaire via sa contribution au forçage radiatif.

conduisant à une concentration de 650 ppm ou plus en 2100, le rapport Stern (2006) proposait une évaluation montrant qu'il serait déraisonnable et inéquitable de dépasser les 550 ppm. Toutefois deux années plus tard, le climatologue James Hansen et ses collègues paléoclimatologues (2008) affirmaient que le seuil permettant d'éviter une interférence dangereuse avec le climat était bien plus bas, autour de 350 ppm : si l'on ne retournait pas rapidement vers cette valeur, l'humanité se trouverait confrontée à une rupture des conditions qui ont permis à la civilisation de se développer. Ce changement d'appréciation tenait à la découverte d'une sensibilité climatique de long terme doublant l'estimation prévalant jusqu'alors pour la sensibilité climatique de moyen terme⁷. La même année, pourtant, les auteurs de la *Garnaut Climate Change Review* en Australie (Enting et al., 2008) en venaient à douter de la possibilité d'identifier un niveau de « danger » climatique tant les situations et les priorités étaient différentes d'une région à l'autre du globe...

En 2012 le niveau brut de concentration atmosphérique des GES avait déjà atteint 473 ppm de CO_{2e} (OMM, 2012), dont 390 ppm pour le CO₂ et 83 ppm pour les autres GES (méthane, N₂O et composés fluorés). Toutefois en prenant en compte l'effet refroidissant des aérosols acides, l'incidence globale sur le réchauffement de l'ensemble des gaz-traces était équivalente à celle entraînée par une concentration de 403 ppm de CO_{2e}. À l'avenir la réduction des sources de pollution acide (SO₂ et NO_x) et la poursuite de la croissance des émissions d'origine fossile laissent présager le franchissement du seuil de concentration nette de 450 ppm de CO_{2e} aux alentours de 2030. Pour qu'il en aille autrement, il faudrait selon le GIEC adopter des politiques fortes d'infléchissement des émissions de GES permettant d'atteindre un pic mondial d'émissions d'ici 2015 - 2020 au plus tard, puis de les réduire à un rythme annuel moyen de 5 % pour rester dans un scénario de 450 ppm à long terme ou de 3,5 % pour un scénario à 550 ppm. Ces politiques devraient avoir cours, non seulement dans les pays les plus riches, mais également dans une grande majorité des autres pays.

2.2. L'émergence de la référence au seuil des 2°C

La première, l'Union européenne s'était donné en 1996 un objectif pour son action internationale et intérieure : que l'accroissement de température moyenne de la basse atmosphère restât inférieur à 2°C par rapport à sa valeur préindustrielle. Cet objectif a été confirmé par le Conseil européen de mars 2007. En l'état des connaissances établi par le 4^{ème} rapport du GIEC-IPCC (2007), cela correspond, en espérance, à une concentration de 440 - 445 ppm CO_{2e} (voir figure 1). Toutefois l'évaluation récente de ce

⁷ Les expressions « long terme » et « moyen terme » se réfèrent ici au temps des climatologues, qui se compte en siècles et millénaires.

repère des 2°C indique qu'il est loin de pouvoir être considéré comme un seuil de sécurité climatique (EU Climate Change Expert Group, 2008), ce qui conduit nombre d'experts et en premier lieu l'équipe de James Hansen⁸ (2013) (Columbia University) à recommander des cibles de concentration encore moins élevées, bien que la faisabilité économique et politique de ces nouvelles recommandations soit sujette à caution.

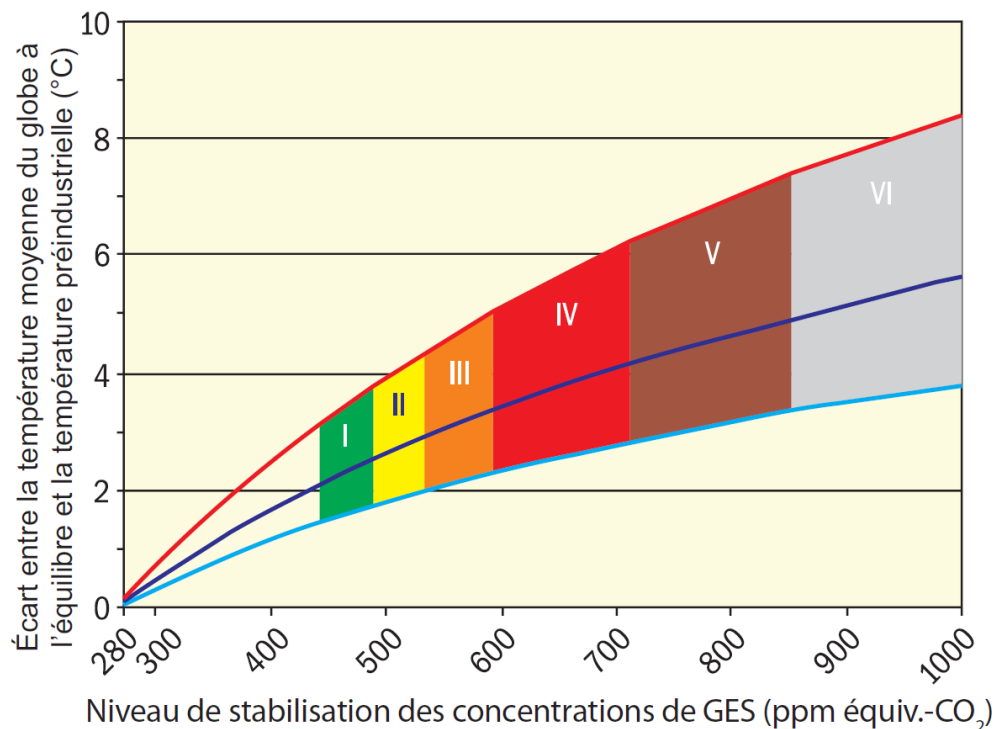


Figure 1 : correspondance entre niveau de concentration en GES et accroissement attendu de la température moyenne de l'atmosphère

Les chiffres romains dans les tranches colorées désignent les fourchettes de concentration de GES reprises dans le tableau 1 pour caractériser les groupes de scénarios
Source : GIEC (2007b, p. 21)

2.3. Un débat sur les stratégies d'abord focalisé sur des cibles d'émissions à court (2020) et moyen terme (2050, 2100)

Le souci d'organiser l'action à partir de variables directement maîtrisables a d'abord conduit analystes et responsables politiques à formuler des objectifs intermédiaires en termes de niveaux d'émissions de GES à différentes échéances. Il leur fallait pour cela passer d'une problématique

⁸ James Hansen est un des climatologues américains les plus connus. Il est aussi l'un des plus radicaux dans ses préconisations. Son audition devant le Congrès américain en 1988 a marqué un tournant dans la prise de conscience internationale du problème climatique.

de concentration à l'équilibre de long terme (plusieurs siècles) vers une gestion des flux à court et moyen terme. C'est ainsi que la France⁹, comme d'autres pays (Royaume-Uni, Allemagne...), l'Union européenne elle-même, le G8, se sont donnés des repères indicatifs sur les niveaux d'émission de GES à viser à différents horizons (2020, 2030, 2050 selon les cas). Pour 2050, un repère s'est largement imposé dans les positions d'experts ou de dirigeants : le « Facteur 4 » ou le « Facteur 5 » pour les pays industriels à l'horizon 2050, et un « Facteur 2 » à l'échelle mondiale. Ces expressions signifient que les émissions de GES des pays industriels devraient avoir été divisées par 4 ou 5 au milieu du siècle par rapport à leur niveau de 1990 et que les émissions mondiales devraient être divisées par 2 à la même échéance. En l'état des connaissances, cela donnerait de bonnes chances de maintenir le réchauffement en dessous de 3°C, mais pas en dessous de 2°C (voir le tableau 1).

Catégorie	Concentration de CO ₂ au niveau de stabilisation (2005 = 379 ppm) ^b	Concentration d'équivalent-CO ₂ au niveau de stabilisation, y compris GES et aérosols (2005 = 375 ppm) ^b	Année du pic d'émissions de CO ₂ ^{a, c}	Variation des émissions mondiales de CO ₂ en 2050 (par rapport aux émissions en 2000) ^{a, c}	Écart entre la température moyenne du globe à l'équilibre et la température préindustrielle, selon la valeur la plus probable de la sensibilité du climat ^{d, e}	Écart entre le niveau moyen de la mer à l'équilibre et le niveau préindustriel dû à la seule dilatation thermique ^f	Nombre de scénarios évalués
	ppm	ppm	année	%	°C	mètres	
I	350-400	445-490	2000-2015	- 85 à - 50	2,0-2,4	0,4-1,4	6
II	400-440	490-535	2000-2020	- 60 à - 30	2,4-2,8	0,5-1,7	18
III	440-485	535-590	2010-2030	- 30 à + 5	2,8-3,2	0,6-1,9	21
IV	485-570	590-710	2020-2060	+ 10 à + 60	3,2-4,0	0,6-2,4	118
V	570-660	710-855	2050-2080	+ 25 à + 85	4,0-4,9	0,8-2,9	9
VI	660-790	855-1 130	2060-2090	+ 90 à +140	4,9-6,1	1,0-3,7	5

Source : GIEC (2007b, p. 20)

Tableau 1 : Correspondance la plus probable entre niveaux de concentration d'équilibre de GES, niveaux d'émission en 2050, accroissement de température et élévation du niveau des mers

Dans ce cadre les variables du jeu décisionnel international sont essentiellement ramenées au nombre de deux : la cible de concentration de GES à long terme et le niveau-cible d'émissions de GES par régions et par pays en 2050, exprimé en pourcentage de leurs niveaux respectifs d'émission à une année de référence (1990 pour les pays engagés par le

⁹ En France, l'article 2 de la loi de programmation des orientations de la politique énergétique (loi POPE du 13 juillet 2005) indique : « La lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3 % par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France. (...) En outre, cette lutte devant être conduite par l'ensemble des États, la France soutient la définition d'un objectif de division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050, ce qui nécessite, compte tenu des différences de consommation entre pays, une division par quatre ou cinq de ces émissions pour les pays développés ».

Protocole de Kyoto). Cette structure laisse une assez grande indétermination quant à la trajectoire à suivre. Or les différences de trajectoires menant à la même cible finale peuvent faire varier tant le volume total d'émissions sur la période 2010-2050 que la répartition de ce volume sur les quatre décennies concernées. Or ces deux éléments influent sur l'impact climatique et encore plus sur l'intensité des dommages qui en résulteront. Ils devraient donc être pris en compte par les politiques climatiques tant pour en déterminer l'ambition que pour calibrer les signaux économiques et réglementaires que les gouvernements devraient introduire pour infléchir la trajectoire d'un scénario de « laisser-aller » climatique (BAU).

2.4. Le basculement récent sur l'idée de budget carbone à moyen terme (2050)

Différents travaux récents (Allen et al., 2009a et b ; Matthews et al., 2009 ; Matthews et al., 2012) ont remis en question le caractère satisfaisant du cadrage centré sur les niveaux d'émission : à leurs yeux le concept « d'émissions-cibles en 2050 » devrait être relégué au second plan ou du moins complété par celui de budget d'émissions cumulées sur la période ou « budget-carbone 2010-2050 », variable bien mieux corrélée avec l'objectif ultime à long terme qu'est le niveau de concentration atmosphérique des GES. Comme l'écrivent Matthews *et al.* (2012, p. 4365) : « *La concentration atmosphérique de CO₂ à une date donnée et la température correspondante sont toutes deux généralement associées à un budget unique d'émissions cumulées de carbone qui est largement indépendant du scénario d'émissions* ».

Qu'on ait affaire, à moyen et long terme, à un problème de stock et de budget pluridécennal et seulement secondairement de flux conduit à reformuler les termes dans lesquels devraient être définies les stratégies à long terme des États : il y aurait avantage à combiner les objectifs d'émissions en 2050 comme le « Facteur 4 » avec une approche en termes de « budget carbone ». Un État aurait alors à déterminer sa trajectoire d'émissions en fonction à la fois de son budget carbone quadri-décennal et de sa cible d'émissions pour 2050.

2.5. L'analogie avec l'exploitation optimale d'un stock de ressources non renouvelables : vers une règle d'Hotelling climatique ?

Avec l'idée de budget-carbone, l'assimilation avec l'exploitation optimale d'un stock de ressources épuisables tend à s'imposer chez les économistes. La dimension stock du problème avait déjà conduit depuis plusieurs années des experts (CGP, 2001 ; CAS, 2009) à envisager d'appliquer un

analogue de la règle de Hotelling (voir l'encadré 1) au problème de la fixation de la valeur du carbone représentant à la fois l'estimation de la valeur unitaire des dommages climatiques additionnels engendrés et le coût maximum à consentir pour éviter l'émission d'une tonne de GES. À leurs yeux la démarche devait consister à fixer d'abord un prix initial de référence pour le rejet de GES en début de période. Ce prix devait ensuite augmenter chaque année au taux représentant théoriquement le coût du capital ou, alternativement, le coût d'opportunité des fonds publics dédiés à l'investissement, en bref le taux d'actualisation économiquement pertinent. Le couple « prix initial - taux d'évolution » devait servir à évaluer les investissements publics et à calibrer le signal-prix à introduire dans l'économie au moyen d'une taxe carbone ou de marchés de quotas sur les émissions de GES.

Encadré 1 : Pertinence de la règle d'Hotelling ?

Hotelling a montré en 1931 que la rente unitaire tirée de l'extraction de ressources non renouvelables devait s'accroître dans le temps à un taux égal au taux d'intérêt sur le marché des capitaux. Ce résultat était obtenu en univers de prévision parfaite. Il annonçait la nécessaire déformation de la structure des prix relatifs dans une économie recourant à des ressources non renouvelables, par exemple l'énergie fossile. À long terme c'est le prix des ressources naturelles non renouvelables et essentielles qui devrait dominer l'économie. Toutefois une telle règle peut être contrariée en pratique du fait de différents événements : la découverte inopinée de nouvelles ressources ou de nouvelles substitutions technologiques, voire d'une technique *backstop*¹⁰, qui vient plafonner la valeur atteignable par la ressource ; l'existence d'un progrès technique induit par la transformation des prix relatifs ; des mouvements exogènes de la demande ; l'existence de structures de marché éloignées de la concurrence parfaite ; différents facteurs d'inertie et d'irréversibilité.

Pour le problème climatique, l'accroissement du prix du carbone en fonction du temps devrait refléter l'élévation du coût marginal de réduction des émissions de GES à mesure que les potentiels à bas coûts seraient épuisés. Toutefois pour que l'analogie soit complètement satisfaisante, il faudrait que le choix d'une trajectoire de maîtrise des émissions inscrites dans un budget pluridécennal donné de carbone n'ait pas d'incidence sur le niveau des dommages climatiques. Or à l'échelle planétaire cette hypothèse perd sa validité (voir ci-dessous). Le calendrier de l'action collective importe pour le profil des dommages attendus durant le XXI^e siècle.

¹⁰ Une technique *backstop* est supposée pouvoir satisfaire toute la demande pour un coût plafonné. Cette hypothèse permet de mettre une borne, même élevée, à l'augmentation future de la valeur d'une ressource et d'éviter la confrontation avec des prix infinis.

Ainsi, en faisant l'hypothèse que le taux d'actualisation recommandé en 2005 pour l'investissement public en France par la commission d'experts présidée par Daniel Lebègue (CGP, 2005) en donne encore une approximation satisfaisante, c'est un taux de 4 %, hors inflation, qui devrait être appliqué concrètement pour les trente prochaines années ; les sept années suivantes jusqu'à 2050 devraient cependant bénéficier d'un taux un peu inférieur, décroissant avec le temps, pour refléter l'incertitude sur la croissance à moyen terme. Resterait alors à déterminer le prix initial auquel ce taux d'augmentation serait appliqué.

Cette manière de procéder laisse de côté des éléments importants. On doit d'abord prendre en compte le fait qu'à l'échelle planétaire différentes trajectoires d'émissions affecteraient différemment le profil des dommages infligés en modifiant le rythme du changement climatique, même si à long terme ce dernier est seulement fonction du stock total de carbone accumulé dans l'atmosphère et pas de la trajectoire suivie : un changement brutal prendrait les espèces vivantes, les écosystèmes et les humains au dépourvu et engendrerait beaucoup plus de destructions et de dommages qu'un changement graduel qui permettrait aux écosystèmes et aux hommes de s'adapter à la nouvelle donne. Cette considération avait d'ailleurs été prise en compte dans l'énoncé de l'objectif retenu par la Convention-cadre sur les changements climatiques adoptée en 1992¹¹. En d'autres termes, l'ampleur des conséquences biologiques et économiques du changement climatique sera fonction de la vitesse à laquelle le changement se produira et pas seulement du niveau final de concentration des GES. La vitesse de ce changement dépend à la fois du profil des émissions et de facteurs propres à la machine climatique, notamment le déclenchement de boucles d'amplification une fois passés certains seuils, et d'autres réactions telle l'acidification des océans. Dès lors, cibler le « Facteur 4 » en 2050 et rester dans les limites d'un budget carbone pluridécennal ne suffisent pas à déterminer la trajectoire d'émissions qu'un pays devrait suivre pour minimiser les dommages climatiques. Il lui faudrait également considérer l'impact de trajectoires alternatives sur les dommages imputables à ses émissions en fonction de leur date d'émission.

Le second élément touche aux conditions de sélection de la cible à long terme : le raisonnement sur les trajectoires à suivre ne peut pas être indépendant de celui qui a conduit à choisir une cible donnée d'émissions pour 2050, et donc du mode d'articulation retenu entre stratégie nationale et scénarios mondiaux. En effet, les normes et valeurs qui président à la sélection d'une cible donnée à long terme continuent de s'imposer comme

¹¹ La Convention-cadre (1992) indique, à la section « objectif » : « *Il conviendra d'atteindre ce niveau – celui empêchant une interférence dangereuse – dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable* ».

conditions logiques des raisonnements construits pour déterminer la meilleure trajectoire compatible à la fois avec la cible et avec le budget carbone pluridécennal. Il nous faut donc cerner quels positionnements cognitifs et éthiques sont susceptibles de valider la cible du « Facteur 4 », pour ensuite faire de ces éléments de justification les conditions logiques contraignant le choix de la trajectoire.

Pour le moins la règle d'Hotelling demande à être amendée et complétée pour être appliquée à notre problème.

Chapitre 3

L'exemple français

Cela fait plusieurs années que la politique climatique de la France comporte officiellement un objectif de maîtrise à long terme des émissions de GES s'exprimant dans la référence au « Facteur 4 ou 5 ». Le « Facteur 4 » impose aux émissions nettes du pays en 2050 d'être au plus égales à 25 % du niveau d'émissions atteint en 1990, et le « Facteur 5 » à 20 %. Comme indiqué dans la loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique de la France (loi POPE) du 13 juillet 2005, ces objectifs sont homothétiques de ceux à adopter globalement par les pays industriels au même horizon, pour contribuer de façon jugée équitable à un objectif planétaire d'au moins un facteur 2 (-50 % par rapport à 1990).

Cependant la justification et la possibilité technique et économique de tels objectifs pour la France avaient été remises en cause par le rapport de la Commission énergie 2020-2050 présidée par Jean Syrota (CAS, 2007). Cette dernière reconnaissait la validité de l'objectif du « Facteur 4 » à l'échelle de l'Union européenne, mais pas pour la France. À ses yeux la France pourrait réaliser sans ruptures importantes, technologiques, économiques ou sociales, une performance comprise entre les facteurs 2,1 et 2,4 seulement. Aussi cette commission proposait-elle une répartition des efforts à l'intérieur de l'Europe en fonction d'une égalisation des émissions par habitant en 2050, présentée comme la solution « équitable »¹². En ce cas, la France serait astreinte à un Facteur 2,6, jugé néanmoins déjà difficile à atteindre¹³.

¹² Au niveau européen comme au niveau mondial, on dispose de bonnes raisons de douter que l'égalisation des droits d'émission par tête soit la bonne façon d'interpréter l'objectif de l'équité. De nature « civique », ce principe d'égalisation n'est pas pertinent dans une situation dominée par les référents « industriel » et « marchand ». Sur ce point, voir Godard (2011a).

¹³ Le rapport Syrota avait retenu comme hypothèse macro-économique une croissance économique de 2,1 % jusqu'en 2015 puis plus faible ensuite, et une demande énergétique fixée de manière exogène sans aucune élasticité-prix. Prendre en compte l'ensemble des GES et admettre la réalité d'un effet-prix sur la demande, indépendamment des effets

Il est utile de fixer les ordres de grandeurs des enjeux des bilans de GES caractéristiques des différentes stratégies envisageables pour la France. L'éventail stratégique est ici représenté par trois d'entre elles : une stratégie « *business as usual* » (BAU) traduisant un abandon, en pratique, de toute politique de maîtrise des émissions de GES conduisant à l'accroissement du niveau annuel d'émissions de 50 % d'ici 2050 ; une stratégie « Facteur 2.6 », faisant écho au rapport Syrota ; une stratégie « Facteur 4 », faisant écho aux objectifs européens et à la loi POPE. Les émissions nettes de la France retenues pour l'année 1990 par le dispositif d'application du Protocole de Kyoto s'élevaient à 564 MtCO_{2e} pour l'ensemble des sources et des GES et à 366 MtCO₂ pour le CO₂ seul, incluant les changements d'utilisation des sols et la forêt (UTCF) (données aux normes Kyoto, CITEPA, 2012, p. 55). L'objectif d'émissions à atteindre en 2050 serait donc une limite de 91,5 MtCO₂ dans une stratégie « Facteur 4 » et de 141 MtCO₂ pour une stratégie « Facteur 2.6 », pour le CO₂ seul. S'agissant de la stratégie BAU, une augmentation de 50 % donnerait 549 Mt CO₂ en 2050.

Supposons que chaque stratégie conduise de façon linéaire à sa cible de 2050 à partir du niveau atteint en 2010. Les émissions de CO₂ de 2010 étaient de 347 MtCO₂ (CITEPA, 2012) soit une baisse de 7 % par rapport à 1990. Les budgets d'émissions de CO₂ correspondant à chaque stratégie sont représentés sur la figure 2.

Naturellement, les trajectoires réelles pourraient bien ne pas être linéaires. Toutefois, les travaux déjà cités (notamment Matthews et al., 2012) sur les budgets-carbone suggèrent qu'alors les déformations non linéaires devraient se compenser de manière à conduire au même budget total sur l'ensemble de la période. L'approximation linéaire est donc ici suffisante pour une première approche de la contribution d'un pays ayant un impact planétaire modeste.

La comparaison de ces trois stratégies fait apparaître certains résultats empiriques remarquables. Sur la période 2011-2050, le scénario de laisser-aller BAU se traduit par un budget-CO₂ qui est approximativement le double de celui de la stratégie de « Facteur 4 ». Ainsi, en termes de budget, la stratégie de « Facteur 4 » centrée sur les émissions de 2050 représente en fait un « Facteur 2 » sur le budget carbone de la période. Par ailleurs la marge d'ajustement des émissions de la France entre la stratégie BAU et la stratégie « Facteur 4 » est de 9,156 GtCO₂, soit un potentiel d'abaissement du stock atmosphérique de 1,123 GtC, soit 0,529 ppm. De même l'enjeu budgétaire du choix entre une stratégie « Facteur 4 » et une stratégie « Facteur 2,6 » sur la même période ne porte que sur 0,06 ppm.

technologiques dûment identifiés, permettrait certainement de faire du facteur 2,6 un objectif atteignable, sans faire appel au ralentissement très significatif des émissions dues à la crise économique connue depuis 2008.

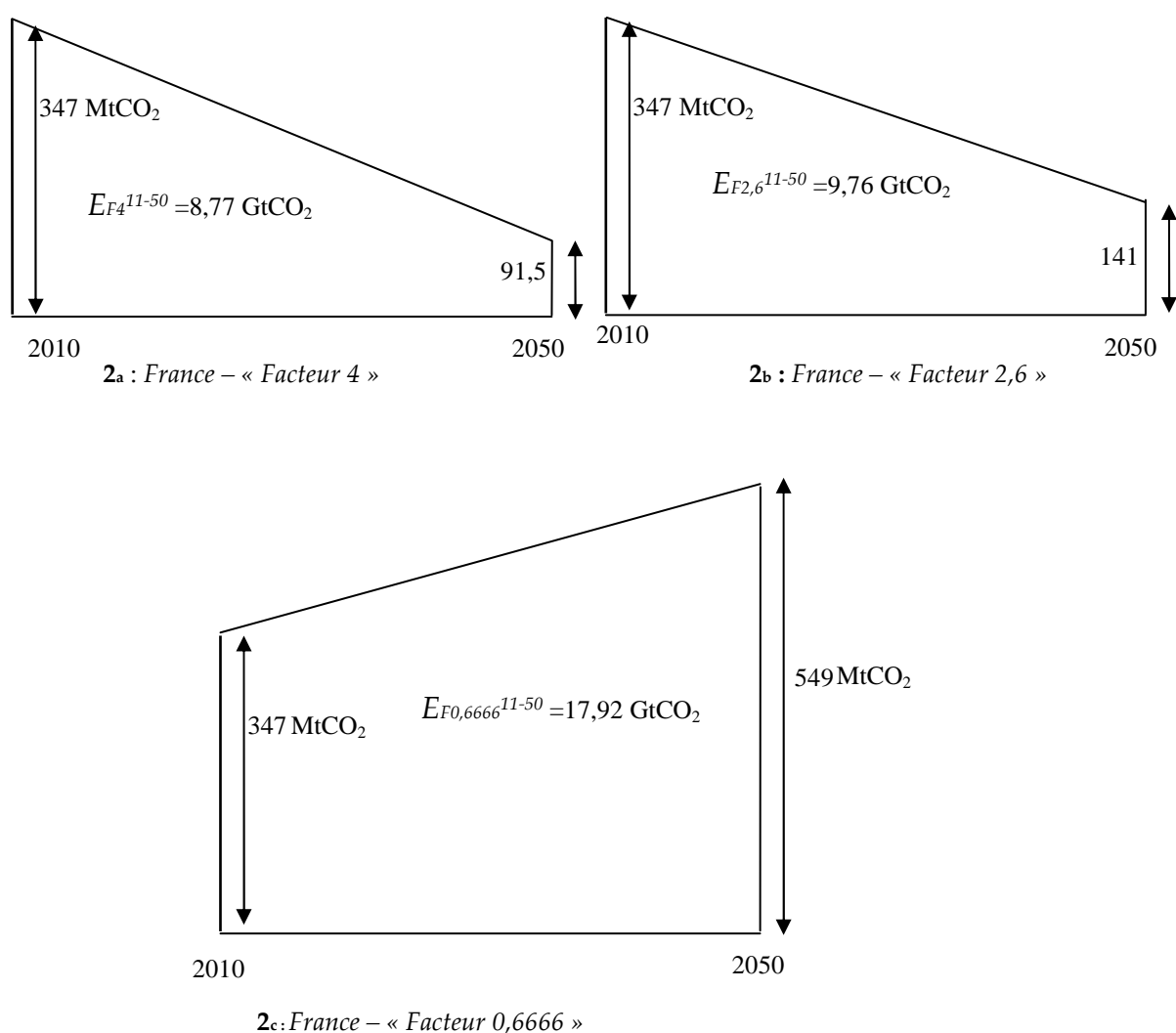


Figure 2 : Montant des émissions cumulées de CO₂ de la France de 2011 à 2050 en fonction de différentes cibles d'émission pour 2050

Ces données ont une implication majeure : les dommages climatiques par tonne de GES émise par la France dépendront essentiellement des scénarios mondiaux auxquels la France apportera sa contribution marginale, et donc du comportement des autres États, pris collectivement, et quasiment pas, de façon directe, de son choix d'une stratégie d'émission. Cela ne signifie pas que toutes ces stratégies s'équivalent, mais que pour un même scénario mondial, la valeur des dommages totaux imputables à la France sera en proportion des budgets d'émission 2011-2050 caractéristiques de chaque stratégie, soit un rapport de 1 à 2 entre la stratégie « Facteur 4 » et la stratégie BAU de laisser-aller.

Chapitre 4

L'articulation entre stratégies nationales et scénarios mondiaux

Pour un pays, déterminer ses choix de politique au regard de la situation climatique mondiale n'a rien d'une évidence. Aucun objectif, aucune cible ne s'imposent de façon univoque comme ce serait le cas si les caractéristiques objectives du problème, telles qu'elles sont appréhendées par l'expertise scientifique, suffisaient à déterminer la réponse à la question « que faire ? ». Parmi les facteurs du choix, il y a des éléments proprement politiques (équilibres au sein de majorités gouvernementales, enjeux diplomatiques, coûts et avantages secondaires pour différents groupes d'intérêts influents, etc.). En arrière-plan comptent les cadres cognitifs et les positionnements éthico-normatifs. Ce sont ces derniers que j'ai en vue. La dimension cognitive a trait à la manière dont un pays envisage les réalités planétaires et se représente le comportement des autres pays. La dimension éthico-normative a trait aux critères ou normes représentant les valeurs morales et sociales choisies pour évaluer et pondérer les dommages affectant respectivement le pays et d'autres régions du monde, mais aussi les impacts à long terme relativement aux impacts plus immédiats.

Avant de les examiner il me faut préciser le cadre d'évaluation élaboré pour attaquer l'étude de ce problème.

4.1. Les équations du dommage climatique

Soit $E_{Y\lambda}^{11-50}$, le budget d'émissions de CO_2 du pays Y sur la période 2011-2050 selon sa stratégie λ , et $\Delta K_{Y\lambda}^{11-50}$ la quantité de CO_2 incluse en conséquence, en termes absolus, par Y dans le stock atmosphérique total de CO_2 , $K_{\text{CO}_2}^{S_j50}$, accumulé en 2050. Le montant de ce stock dépend des trajectoires suivies jusqu'en 2050 pour mener à l'un des trois scénarios mondiaux de référence S_j {450 ppm, 550 ppm, 1000 ppm} ou à tout autre

scénario envisagé. $K_{CO_2}^{S_j50}$ est une part prépondérante¹⁴ du stock total de GES $K_{GES}^{S_j50}$. La contribution du pays Y jusqu'en 2050, $\Delta K_{Y\lambda}^{11-50}$, dépend du taux de rémanence atmosphérique du CO₂ R_i , qui dépend de la concentration i en GES. On a donc la relation¹⁵ :

$$\Delta K_{Y\lambda}^{11-50} = R_i^{50} E_{Y\lambda}^{11-50} \quad (1)$$

R_i^{50} étant le taux de rémanence atteint en 2050 du fait de la concentration i en GES.

Le dommage climatique mondial associé à un scénario S_j , est une fonction de la grandeur qui représente le changement climatique engendré dans ce scénario, à savoir le niveau d'accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère par rapport à son niveau préindustriel en 1750. Ce surcroît de température dépend de la concentration atmosphérique de GES atteinte. Les dommages mondiaux entraînés par le niveau de concentration atteint en 2050 dans le cadre du scénario S_j sont désignés par $D_W^{S_j50}$. Attention ! Il ne s'agit pas du niveau de dommage qui sera enregistré en 2050 mais de l'intégrale des dommages engendrés sur toute la durée prise en compte (voir le chapitre 5) et actualisés, qui sont associés au niveau de concentration atteint en 2050. Cette définition suppose que ce niveau demeure le niveau d'équilibre à long terme, compte tenu de la très longue durée de vie atmosphérique d'une part importante du CO₂ émis¹⁶. En remontant des températures aux concentrations, et des concentrations aux émissions, on peut alors établir un lien entre ce dommage $D_W^{S_j50}$ et les émissions globales et individuelles des pays.

Pour la plupart des pays, à l'exception peut-être de la Chine et des États-Unis¹⁷, la contribution du budget d'émissions du pays Y sur la période 2011-2050 au stock de carbone atmosphérique est trop faible pour faire varier de façon importante le niveau du dommage climatique. Il en va ainsi

¹⁴ Entre 15 et 20 ppm distinguent la concentration en CO₂ de la concentration en GES de chaque scénario. Ce niveau relativement faible de contribution est le résultat net de l'impact des gaz non-CO₂ (méthane, protoxyde d'azote, ...) qui contribuent positivement au forçage radiatif et des aérosols acides qui y contribuent négativement. Le GIEC (AR5, technical summary, p. 17) attribue aux aérosols une contribution négative au forçage radiatif de -0,9 W/m².

¹⁵ Les notations, fonctions et formules sont récapitulées en annexe 1.

¹⁶ Entre 100 et 1000 ans pour la plus grande part. La notion de durée de vie moyenne du CO₂ atmosphérique recouvre une grande diversité de mécanismes d'absorption par d'autres compartiments du cycle du carbone : océans et écosystèmes terrestres. Le GIEC (2007, WG1, ch 2, p. 213) donne la formule suivante pour calculer le taux de rémanence d'un apport en CO₂ en fonction du temps écoulé depuis son émission, pour une concentration initiale de 378 ppm :

$$Q_{CO_2}^t = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i \exp(-t/t_i) \quad \text{avec } a_0 = 0,217 ; a_1 = 0,259 ; a_2 = 0,338 ; a_3 = 0,186$$

$$t_1 = 172,9 \text{ ans} ; t_2 = 18,51 \text{ ans} ; t_3 = 1186 \text{ ans.}$$

¹⁷ La Chine et les États-Unis étaient causalement responsables respectivement de 22,3% et 13,4% des émissions de GES de 2010 (European Commission, 2011).

de l'exemple français. Que ce pays vise le « Facteur 4 » en 2050 ou qu'il laisse ses émissions annuelles augmenter de 50 % à cet horizon, la différence pour le stock mondial de carbone serait de l'ordre de 0,5 ppm (Godard, 2009 et supra, chapitre 3). Je supposerai donc que le dommage marginal imputable à l'émission d'une tonne de CO₂ par le pays Y est égal au dommage moyen par tonne de CO₂ engendré par le stock de carbone constitué à la date d'émission de cette tonne par le pays Y¹⁸.

La fonction de dommage climatique planétaire D_{wi} est définie comme la somme actualisée de la valeur annuelle des dommages climatiques résultant du niveau de concentration i des GES sur la durée prise en compte. Cette valeur annuelle des dommages est elle-même exprimée en pourcentage constant du PIB mondial de chaque année de la période considérée.

$$D_{wi} = [(1+g)/(g-r)] [((1+g)/(1+r))^t - 1] \alpha_i PIB_{w10}^{10} \quad (2)$$

avec : g : taux de croissance annuel du PIB/hab à l'échelle mondiale ;
valeurs testées : 2 % et 1,3 % ;

r : taux d'actualisation ; valeurs testées : 5,5 % ; 4 % ; 3,25 % ; 3 % ; 2,5 % ; 2,1 % pour l'ensemble des configurations et, de façon additionnelle, 1,4 % pour les configurations où le taux de croissance économique est de 1,3 % ;

t : horizon de l'évaluation, en nombre d'années ; valeurs testées : 290 ; 140 ;

α_i : expression du dommage climatique annualisé correspondant au niveau de concentration i , en pourcentage du PIB mondial annuel ;

PIB_{w10}^{10} : valeur du PIB mondial en 2010 ; valeur retenue : 48 600 G€ sur la base d'une valeur de 63 180 G\$ (IMF, 2012, p. 190) et d'un taux de change euro/dollar de 1,30.

Notons que dans l'évaluation proposée jusqu'au chapitre 7, centrée sur la justification du Facteur 4, je suppose qu'une seule valeur caractéristique du taux d'actualisation est utilisée pour chaque configuration sur l'ensemble de la période 2011-2050, chaque valeur exprimant un degré d'altruisme intergénérationnel. Ce n'est que dans le chapitre 8 lors de l'examen du choix d'une trajectoire d'émissions vers la cible du « Facteur 4 » que cette hypothèse sera mise en question.

¹⁸ Une règle spécifique de type « contribution à la marge » sera adoptée pour le positionnement « thomiste » dans lequel le pays Y évalue sa contribution en se calant sur la concentration atmosphérique de GES atteinte en 2010, soit 403 ppm, et écarte donc toute analyse des scénarios futurs.

4.2. Positionnements cognitifs

Le poids donné par un pays Y aux implications de ses choix de politique climatique dépend d'abord de son positionnement cognitif, c'est-à-dire de la manière dont il envisage à la fois la réalité de la question climatique à l'échelle mondiale et sa propre place dans cette réalité. Cela se manifeste d'abord par le choix d'une approche cognitive générale parmi les trois que je désigne comme « prédictive », « thomiste », « symétrique »¹⁹. Cela se manifeste ensuite sur le terrain de l'attribution des estimations de dommages climatiques mondiaux, par le choix de trois bases possibles pour déterminer l'impact propre aux émissions du pays Y : (a) le stock atmosphérique de carbone associé aux niveaux de concentration atmosphérique caractéristique de chaque scénario de référence ; (b) la part du stock atmosphérique de carbone résultant, pour chaque scénario, des seules émissions de CO₂ d'origine anthropique depuis le début de l'ère industrielle (1750) ; (c) les émissions mondiales de CO₂ attendues sur la période 2011-2050 en fonction des différents scénarios prédictifs considérés.

4.2.1. Trois approches cognitives

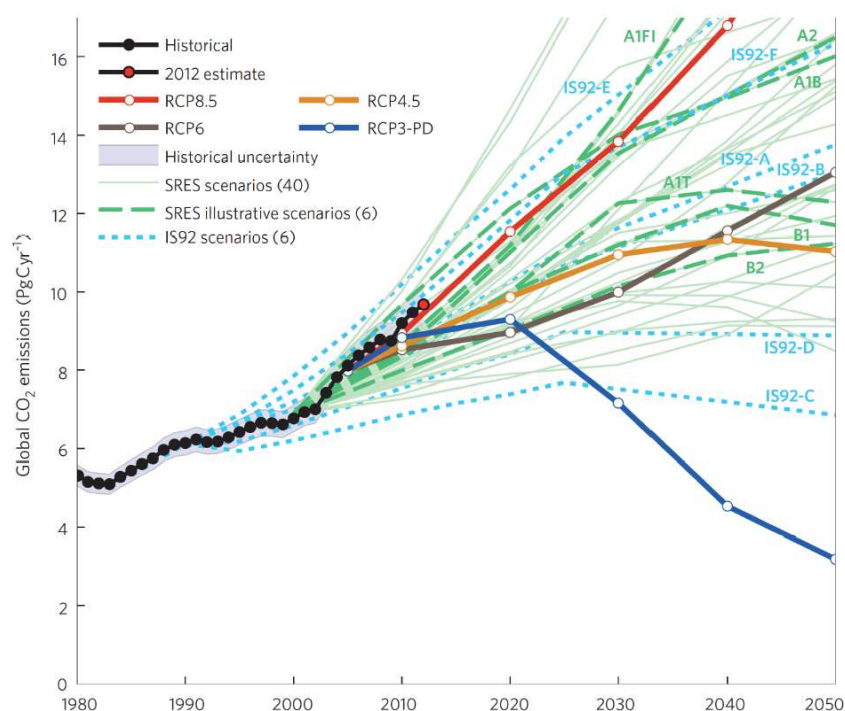
4.2.1.1. L'approche prédictive

Avec l'approche « prédictive », un pays Y considère la réalité mondiale comme une réalité qui lui est extérieure et dont il cherche à prévoir les évolutions à long terme, sans considérer que ces évolutions puissent dépendre de ses propres actions autrement que de façon très marginale. Pour le problème climatique, il le fait en élaborant des scénarios donnant, en variables de résultat, des concentrations de GES stabilisées à long terme. Face à ces scénarios, le pays Y envisage et teste plusieurs stratégies de maîtrise de ses propres émissions de GES. L'une d'elles vise le « Facteur 4 » en 2050 et constitue le point focal des analyses proposées dans cet ouvrage. La réalité extérieure objet de la prévision porte ici à la fois sur les phénomènes physiques qui sous-tendent le changement climatique et sur les comportements de tous les autres États qui, ensemble, engendrent les trajectoires des scénarios. Dans ce cadre, le pays Y ne se reconnaît une influence mondiale que sous la forme d'un ajout minime au stock de carbone atmosphérique, à proportion de ses émissions de GES.

¹⁹ Cette typologie fait écho, mais en lui empruntant partiellement, à celle que Russell Ackoff (1974) proposait dans un ouvrage classique de l'analyse des systèmes pour les organisations. Ackoff distinguait en effet les approches « réactive », « inactive », « préactive » et « proactive ». La première désignait une volonté de restauration d'un passé révolu mais idéalisé ; la seconde, le refus de toute anticipation au profit de l'adaptation au cours des choses dans un présent continu ; la troisième instaurait un futur à prévoir et une logique d'adaptation anticipée à ce futur jugé pour l'essentiel hors de contrôle ; la quatrième représentait un futur à construire par un sujet qui n'était pas seulement un agent mais un acteur de son devenir au moyen d'une stratégie délibérée de transformation active de son environnement et de sa propre organisation.

Cette approche correspond bien aux situations dans lesquelles le pays n'est pas engagé dans un processus de coordination étroit avec les autres pays. Chacun est donc amené à déterminer lui-même, de façon isolée, le contenu de sa stratégie en fonction des considérations intérieures ou éthiques qui lui sont propres et d'une certaine représentation de ce que feront les autres. La situation est donc appréhendée de façon ni coopérative, ni interactive.

En l'état des débats scientifiques et diplomatiques internationaux j'ai retenu trois scénarios mondiaux de base caractérisés par leur concentration stabilisée à long terme de GES : S_{450} (450 ppm), S_{550} (550 ppm) et S_{1000} (1000 ppm). Faisant écho à une espérance de réchauffement limitée aux environs de 2°C, le premier correspond à un compromis entre le souhaitable (les 350 ppm défendus par James Hansen et l'ONG 350.org) et le possible sur le plan économique²⁰ et politique, compte tenu du niveau de concentration déjà atteint en 2010 (403 ppm pour tous les GES et aérosols).



Source : Peters *et al.* (2013, p. 5)

Figure 3 : Émissions de CO₂ réalisées de 1980 à 2012 et estimées selon différents scénarios du GIEC jusqu'en 2050

Les scénarios désignés par le sigle RCP sont ceux qui ont été retenus pour le 5^e rapport du GIEC (2013-2014). Le sigle SRES désigne les scénarios présentés

²⁰ Voir néanmoins la tentative d'Ackerman *et al.* (2009) de donner une justification économique de type coûts-bénéfices à une cible de 350 ppm.

dans le rapport spécial consacré en 2000 aux scénarios d'émission et IS92 ceux retenus dans le rapport complémentaire du GIEC de 1992.

Le second scénario représente un objectif plus accessible du point de vue politique et macroéconomique, mais aussi plus dangereux du point de vue climatique, conduisant à une espérance de réchauffement d'environ 3°C ; il correspond approximativement aux recommandations du rapport Stern (2006)²¹ sur les concentrations à ne pas dépasser. Le troisième représente le scénario du « laisser-aller » climatique ; il correspond peu ou prou au scénario A1FI présenté dans le rapport spécial sur les scénarios d'émission du GIEC (2000), mais aussi à la trajectoire d'émission de GES effectivement suivie par l'humanité depuis 1990 (Peters et al., 2013) (voir la figure 3) en dépit des accords internationaux existants. Il a en fait tous les attributs de la plausibilité, soulignait le climatologue Stephen Schneider (2009).

4.2.1.2. L'approche « thomiste » calée sur les concentrations observées

Selon cette approche, le pays Y examine l'impact de ses choix possibles d'émission de GES en ne considérant que l'état des concentrations atmosphériques de GES déjà réalisées et observées à la date à laquelle il considère le problème, d'où la référence à l'apôtre Thomas dont la mémoire historique a retenu qu'il ne croyait que ce qu'il voyait. Pour donner une traduction concrète à cette approche, j'ai choisi le niveau net de concentration atmosphérique des GES atteint en 2010, soit 403 ppm, comme situation de référence planétaire.

Cette approche « thomiste » trouve ses bonnes raisons dans l'incertitude concernant le comportement des autres pays et surtout dans un refus de présumer des droits respectifs de chaque pays à émettre des GES à l'avenir puisque ces droits n'ont encore en 2013 fait l'objet d'aucun accord international. Pourtant le pays Y doit choisir sa stratégie ! Or si ce pays admettait comme référence les niveaux d'émissions futures que projettent différents scénarios à l'échelle mondiale, selon l'approche « prédictive » que récuse et remplace l'approche « thomiste », cela reviendrait pour lui à présumer indirectement de la légitimité et de l'équité de telle ou telle trajectoire d'émission des autres pays et donc aussi du mode d'imputation des dommages et de la répartition internationale future des droits d'émission. À travers la reconnaissance explicite du caractère plausible, sinon inéluctable, des trajectoires d'émission prévues, l'approche prédictive

²¹ Toutefois Nicholas Stern ainsi que Rajendra Pachauri, président du GIEC, avaient, à titre personnel, défendu en 2009 le bien-fondé d'un objectif de long terme de retour aux 350 ppm de CO₂ atmosphérique (Morford, 2009).

faciliterait en effet la logique du fait accompli dont le pays Y ne veut pas²². Par exemple l'acceptation, comme référence, de la projection de la poursuite d'un niveau très élevé d'émissions par la Chine et d'autres pays émergents comme l'Indonésie entraînerait mécaniquement une élévation de la valeur des dommages imputables aux émissions additionnelles de pays comme la France ou l'Italie.

Pour concrétiser le cas où le pays Y adopte l'approche « thomiste », je considère que ses propres émissions sur la période 2011-2050 viennent ajouter une contribution additionnelle au niveau déjà réalisé de concentration atmosphérique de GES en 2010, c'est-à-dire au moment où ce pays est censé considérer ses choix stratégiques. C'est à cette seule aune qu'il jauge alors sa propre contribution aux dommages climatiques et la responsabilité y afférant selon la formule suivante caractérisant le dommage unitaire par tonne de CO₂ émise en 2010, D_{Yu} :

$$D_{Yu}^{10} = f\{D_W^{K_{GES}^{10} + \Delta K_{YA}^{11-50}}\} * (1 / K_{CO_2}^{10} + \Delta K_{YA}^{11-50}) * (1 / 17,31), \quad (3)$$

avec : $D_W^{K_{GES}^{10} + \Delta K_{YA}^{11-50}}$, la valeur actuelle 2010 du dommage mondial associé à une concentration de $K_{GES}^{10} + \Delta K_{YA}^{11-50}$ ppm

K_{GES}^{10} , la concentration de GES atteinte en 2010

$f\{.\}$, la fonction définissant la part des dommages mondiaux imputable au pays Y, qui dépend des positionnements éthico-normatifs qui seront explicités plus loin.

Le ratio $(1 / 17,31)$ convertit une quantité donnée de carbone atmosphérique mesurée en ppm, en la quantité d'émissions de CO₂ nécessaire en intrant, mesurée en tCO₂. Ce ratio tient compte d'un taux de rémanence atmosphérique des émissions de 0,45, valable pour les concentrations inférieures à 550 ppm²³.

4.2.1.3. L'approche postulant l'identité des positionnements des pays et des stratégies à travers le monde

L'idée même de politique climatique nationale suppose que chaque pays dispose d'une possibilité de choix d'une stratégie d'émission de GES. De façon réflexive, le pays Y peut alors vouloir prendre en compte le fait que

²² Un problème du même genre avait été soulevé en 1991 à l'occasion d'une controverse lancée par le chercheur indien Anil Agarwal, fondateur du *Centre for science and environment* à New Delhi, à l'encontre des données sur les « émissions nettes par pays » publiées dans un rapport du *World Resources Institute* et du PNUE. La notion « d'émissions nettes » définie dans ce rapport supposait implicitement que les puits mondiaux de GES (océans, forêts) soient attribués à chaque pays au prorata de ses émissions brutes, ce que contestait Agarwal qui y voyait un avantage léonin accordé aux pays les plus pollueurs. Voir Agarwal & Narain (1991) et WRI (1990).

²³ 1 ppm de CO₂ stocké dans l'atmosphère représente 2,124 GtC ou 7,788 GtCO₂ (Ballantyne et al., 2012).

l'exercice auquel il se livre pour déterminer ses choix peut également être mené par les autres pays. Et si une logique de choix donnée lui apparaît la meilleure ou la plus convaincante, il est raisonnable de sa part d'imaginer que les autres pays puissent parvenir à la même conclusion pour eux-mêmes, ou du moins qu'il s'agit là d'une configuration plausible à explorer. Cette approche conduit donc le pays Y à envisager différentes options stratégiques en posant à chaque fois un principe d'identité de logique de choix de la part des autres pays. Pour l'analyse, les choix des divers pays sont alors représentés comme contrefactuellement dépendants les uns des autres, répondant à un principe d'unicité de logique, sans présumer une quelconque coopération ni optimalité.

Ce cadrage cognitif particulier permet d'appréhender les résultats globaux d'une situation dans laquelle tous les États du monde partageraient une même logique de comportement. Au-delà d'un intérêt heuristique, un fondement plausible peut être recherché soit dans une certaine conception de la rationalité et de l'éthique rattachant ces dernières à des déterminants universels, soit dans une théorie mimétique des choix de cadrage à une époque donnée, reflétant ce qu'on peut appeler une « atmosphère » géopolitique, soit encore dans une structure de jeu dans laquelle la métalogue s'imposant à chaque acteur et anticipée par lui est celle de la réciprocité, « *tit for tat* » disent les anglo-saxons. Ainsi, que ce soit pour l'un ou l'autre de ces fondements ou pour plusieurs d'entre eux à la fois, si un État trouve justifié de recourir à une norme égocentrique, il peut raisonnablement s'attendre à ce que d'aussi bonnes raisons conduisent les autres États à faire de même.

Il résulte de cette approche différents scénarios d'équilibre de la concentration atmosphérique de GES S_j { S_{912} à S_{685} }.

4.2.2. Le choix d'une base d'imputation des dommages

Les émissions d'un pays Y sur la période 2011-2050 vont contribuer à accroître les concentrations de GES dans l'atmosphère, lesquelles détermineront un certain niveau de dommages climatiques. Contribuer, mais dans quelle mesure ? Comment déterminer la part qui revient au pays Y dans les dommages associés à la concentration mondiale de GES dans l'atmosphère ? La méthode pour y parvenir ne va pas de soi.

4.2.2.1. Une méthode en débat

Dans son analyse du problème de la fixation d'une valeur tutélaire du carbone en France, Godard (2009) avait procédé de la façon suivante : partant du budget d'émissions de GES de la France sur la période 2011-2050, linéairement déduit de différents objectifs cibles pour 2050 (« Facteur 4 », « Facteur 2,6 », « Facteur 0,666 »), il déterminait la quantité

de GES ajoutée par ce pays au stock atmosphérique mondial caractéristique de différents scénarios. À cet effet il supposait un taux de rémanence atmosphérique moyen homogène pour tous les GES. Le ratio de la quantité ajoutée par la France au montant du stock total de GES caractéristique des valeurs d'équilibre de chaque scénario planétaire considéré S_j {450 ppm, 550 ppm, 1000 ppm} déterminait la quote-part des dommages climatiques à imputer à une stratégie d'émission de GES de la France.

Ce mode de calcul s'exposait à la critique par quatre aspects :

- il négligeait les problèmes posés par l'agrégation intertemporelle d'un stock hétérogène de GES en prenant la totalité des GES émis par Y comme base d'imputation ;
- il appréciait la contribution du budget carbone du pays Y sur la période 2011-2050 en la mettant en rapport avec le stock de GES correspondant au niveau de concentration de GES caractéristique de l'équilibre à long terme des trois scénarios considérés (de 450 à 1000 ppm) ; or ce stock futur de GES sera le résultat d'émissions dont certaines sont antérieures à 2011²⁴ et d'autres seront postérieures à 2050 ; le calcul avait donc pour effet de noyer l'impact propre des choix du pays Y pour la période 2011-2050 dans un ensemble trop vaste et de minorer sa contribution ;
- une partie importante du carbone atmosphérique, environ les deux tiers du stock actuel, a une origine naturelle, ou du moins « préindustrielle » ; une appréhension causale ne ferait logiquement aucune distinction entre carbone naturel et carbone anthropique, dans la perspective d'une répartition internationale des dommages résultant du *changement climatique d'origine anthropique*, et non de tous les dommages liés à des événements climatiques²⁵, le pays Y pourrait néanmoins juger davantage approprié de rapporter ses émissions de la période 2011-2050 aux seules émissions totales résultant de l'activité humaine²⁶ ;

²⁴ Par exemple, d'un point de vue factuel, le total des émissions de CO₂ émises par la France de 1750 à 2010 peut être estimé à 8,62 GtC (Boden et al., 2011 ; European Environment Agency, 2011), ce qui donne environ 1,8 ppm de concentration atmosphérique, à rapporter aux 111 ppm de CO₂ accumulé globalement dans l'atmosphère durant la même période.

²⁵ Rappelons que tout événement climatique dommageable (sécheresse, inondation, cyclone...) ne saurait être imputé au changement climatique puisque de tels événements se produisaient déjà au sein du régime climatique historique « de référence ». Le changement climatique d'origine anthropique n'est comptable que des modifications dommageables apportées à ce régime, en d'autres termes d'un surcroît de dommages climatiques.

²⁶ C'est en effet de cette manière que la totalité des dommages résultant du changement climatique peut se trouver imputée à l'un ou l'autre des pays émetteurs. Prendre comme base la totalité du stock de carbone atmosphérique imposerait d'imputer à la « nature » sa part de responsabilité dans les dommages, les humains ne prenant en charge que l'autre partie... (je dois cette remarque à Antonin Pottier).

- enfin le pays Y qui s'interroge sur sa stratégie pour la période 2011-2050 est aussi un pays qui a contribué à l'accumulation du stock atmosphérique de carbone depuis le début de l'ère industrielle ; il y a là, aux yeux de certains, une variable importante à prendre en compte, celle de la « responsabilité historique » différentielle des pays (Neumayer, 2000 ; Gosseries, 2004b ; Caney, 2006 ; Shue, 2009 ; Page, 2012) qui conduirait les pays ayant le plus émis de GES avant 2011 à prendre en charge des réductions additionnelles, au lieu de considérer l'état du monde en 2010 comme un nouveau point de départ ; ainsi la Convention-climat de 1992 pose-t-elle que les pays industriels doivent « prendre les devants » et que « les responsabilités sont communes mais différenciées » ; en ce sens le Protocole de Kyoto adopté en 1997 et entré en vigueur en 2005 ne définissait des obligations chiffrées de maîtrise des émissions que pour les pays industriels, sans toutefois préciser les choses au-delà de 2012.

Chaque objection mérite examen, car elle peut faire bifurquer la méthode d'imputation du dommage climatique. Pour traiter le problème de l'hétérogénéité des GES, le corps du calcul du processus d'accumulation du carbone atmosphérique sera centré sur le seul CO₂, tout en considérant la totalité des GES lorsqu'on qualifie les scénarios par leur niveau de concentration en GES une année donnée, qu'il s'agisse d'une année de début de période ou de fin de période. Deuxièmement, afin de juger de l'impact d'une stratégie d'émission jusqu'en 2050, le stock de carbone qui sera pris en compte est celui qui se trouvera accumulé en 2050 dans le cadre de chaque scénario, et pas celui correspondant aux concentrations d'équilibre à long terme, qui ne seront atteintes que plus tard, d'autant plus tard d'ailleurs que le scénario envisagé est intensif en carbone. Ces deux orientations sous-tendent la base B1 présentée ci-dessous.

L'objection demandant qu'on sépare carbone naturel et carbone anthropique dans l'imputation des dommages peut être satisfaite de la façon suivante. Le dommage climatique est causalement créé par la totalité du stock de carbone présent dans l'atmosphère quelle que soit son origine ; l'évaluation des dommages dépend donc de la concentration totale en GES caractéristique de chaque scénario à différentes dates, notamment 2050. Toutefois au moment de caractériser la part qui revient au pays Y relativement aux autres pays, en s'éloignant d'une approche purement causaliste qui ne fait pas de distinction entre tonnes de CO₂ selon le processus qui explique leur présence dans l'atmosphère, on peut considérer comme adéquat de considérer, non la totalité du stock de carbone accumulé mais seulement la part de ce stock qui est imputable aux émissions d'origine anthropique depuis le début de l'ère industrielle (1750). C'est ce qui sous-tend la base B2 retenue ci-après.

Le souci d'adéquation stricte entre la délimitation temporelle de l'horizon stratégique assigné ici au pays Y (la période 2011-2050) et celle de l'évolution mondiale à l'origine des dommages redoutés peut conduire à vouloir rapporter les émissions cumulées du pays Y sur la période 2011-2050 aux émissions cumulées mondiales sur la même période au sein de chaque scénario. L'imputation porte alors sur le seul dommage additionnel résultant des émissions ajoutées entre 2011 et 2050 par le pays Y et par l'ensemble des autres pays, et non plus sur le dommage total résultant du *changement climatique* associé aux émissions d'origine anthropique depuis le début de l'ère industrielle. Cela donne la base B3 ci-dessous.

Enfin concernant les émissions passées, l'idée de « responsabilité historique » des pays industriels, défendue par plusieurs parties à la négociation internationale sur le climat²⁷ et par des ONG, a suscité de nombreux débats sur les terrains juridique, géopolitique et éthique²⁸. Elle demeure éminemment controversée quant à ses fondements normatifs et à sa réalité empirique. Elle n'a fait l'objet d'aucun accord international au-delà de l'écho lointain que lui ont apporté les formulations retenues par la Convention-climat de 1992 (« responsabilités communes mais différenciées »). Aussi bien chaque État a-t-il été renvoyé par l'Accord de Copenhague à sa propre appréciation de ses objectifs pour le futur. Il n'existe donc aucune raison positive de privilégier telle ou telle vision des émissions passées qui préjugerait d'une répartition rétroactive des droits sur l'atmosphère. De plus l'évaluation des dommages climatiques qui seront causalement imputables aux choix qui seront faits pour la période 2011-2050 ne dépend pas du traitement du passé, mais des évolutions planétaires qui seront suivies. Cette question de la « responsabilité historique » peut donc être traitée de façon séparée, notamment parce que les éventuelles obligations qui en résulteraient peuvent prendre la forme de transferts financiers ou de transferts technologiques à des conditions privilégiées et pas seulement celle de réductions additionnelles d'émissions. Elle sera donc écartée ici.

Quelles qu'elles soient, les bases d'imputation demandent qu'on détermine le montant des émissions mondiales cumulées de CO₂ durant la période 2011-2050 pour chaque scénario S_j. La solution retenue est de se caler sur les scénarios d'émission de CO₂ du rapport 2007 du GIEC (voir la figure 4). Il existe certes plusieurs chemins possibles à l'intérieur des « couloirs » représentés sur cette figure pour mener aux valeurs d'équilibre des concentrations, elles-mêmes appréhendées par le GIEC avec des fourchettes de valeurs. J'ai choisi des montants médians en phase avec les

²⁷ Soulignons en particulier les positions de l'Inde, au sein du groupe des pays émergents, et de la Bolivie parmi les pays en développement.

²⁸ Voir Godard (2012) pour une revue critique du débat sur l'application du concept de « dette écologique » à la responsabilité historique relative au changement climatique.

cibles retenues, en ppm, pour les trois principaux scénarios de concentration de GES : {450 ; 550, 1000}.

Les valeurs retenues sont les suivantes pour les émissions cumulées mondiales du scénario S_j sur la période 2011-2050 :

$$E_{W^{S_{450}^{11-50}}} : 200 \text{ GtC},$$

$$E_{W^{S_{550}^{11-50}}} : 311 \text{ GtC} ;$$

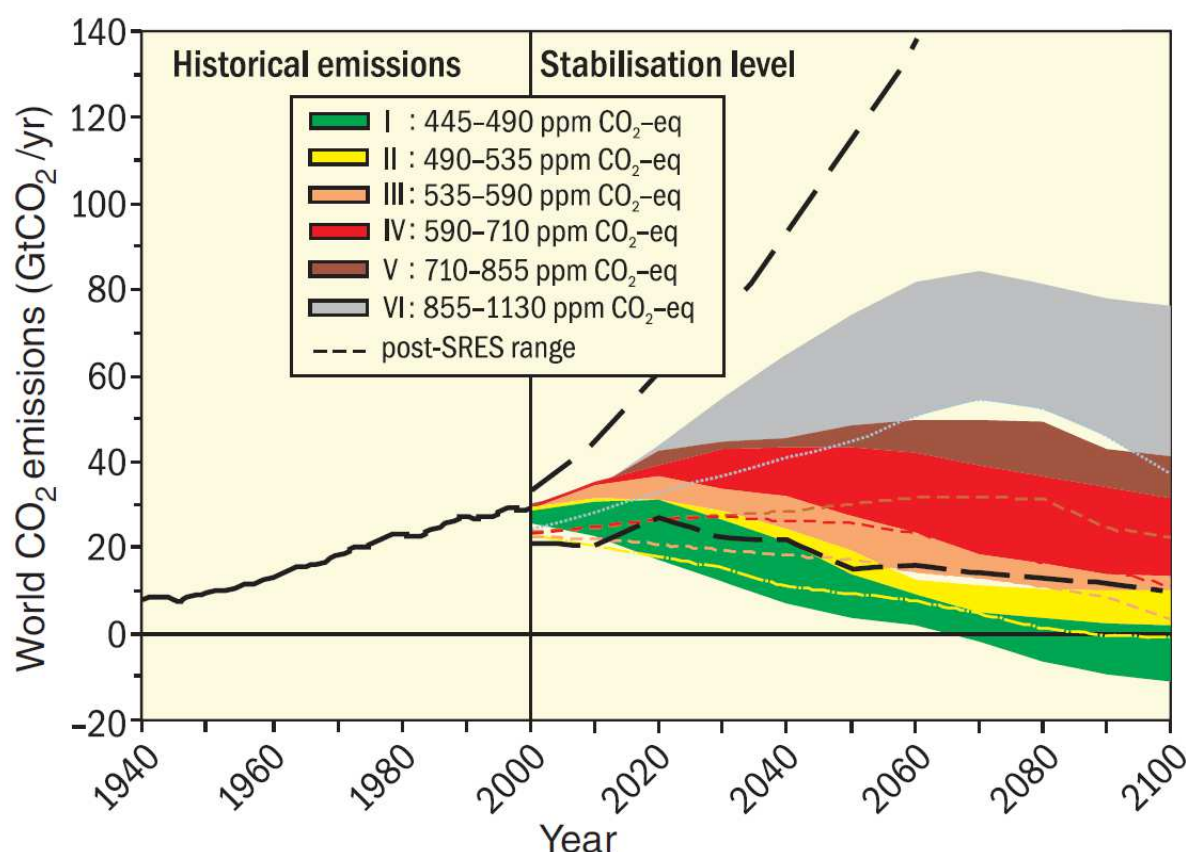
$$E_{W^{S_{1000}^{11-50}}} : 595 \text{ GtC},$$

pour un montant total d'émissions disponibles dans le cadre du scénario S_j sur la période 2011- ∞ égal à :

$$E_{W^{S_{450}^{11-\infty}}} : 217 \text{ GtC} ;$$

$$E_{W^{S_{550}^{11-\infty}}} : 689 \text{ GtC} ;$$

$$E_{W^{S_{1000}^{11-\infty}}} : 2585 \text{ GtC}.$$



Source : IPCC (Summary for policy-makers, Synthesis report, 2007, p. 21)

Figure 4 : trajectoires d'émissions de CO₂ correspondant à différents scénarios de stabilisation des concentrations de GES

En conséquence la période 2011-2050 ponctionne le budget total à long terme d'émissions en CO₂ de chaque scénario de façon très contrastée : à hauteur de 92 % pour S₄₅₀, de 45 % pour S₅₅₀ et de 23 % seulement pour S₁₀₀₀. Il y a là un résultat important. Avoir 2050 comme horizon resserre considérablement les écarts entre scénarios. Cela limite tout aussi considérablement l'ampleur des responsabilités imputables au pays Y au titre de ses émissions de la période 2011-2050 car ces dernières ne sont pas causalement responsables de l'accumulation de carbone post-2050 qui sous-tend chaque scénario de long terme.

Une dernière observation s'impose : en prenant la concentration de GES atteinte en 2050 pour base du calcul des dommages imputés aux pays Y au titre de ses émissions cumulées sur la période 2011-2050, tout se passerait comme si la totalité du budget d'émissions de ce pays était émise en 2050, c'est-à-dire, par hypothèse à la date à laquelle les concentrations de GES atteignent leur valeur la plus élevée de la période et donc où les dommages associés ont aussi la valeur la plus élevée. Cette approximation surestime donc les dommages dont le pays Y peut être jugé comptable puisque les émissions faites tout au long de la période depuis 2011 sont individuellement la cause de moindres dommages, en s'ajoutant année après année à un stock atmosphérique de GES moins élevé que celui atteint en 2050. L'évaluation résultant de ce que j'ai appelé l'approche « thomiste », qui ajoute les émissions du pays Y au seul stock de carbone qui était déjà accumulé en 2010, apporte un utile contrepoint. Ensemble, ces deux valeurs bornent la fourchette de valeur des dommages imputables au pays Y, fourchette qui encadre l'indétermination résultant de la marge de liberté du pays Y quant au choix d'une trajectoire de réduction de ses émissions. Dans l'incertitude sur les choix stratégiques du pays Y, une solution équilibrée de représentation des dommages qui lui sont imputables consiste à prendre la moyenne de ces deux valeurs polaires, attachées respectivement aux concentrations K_{GES}^{10} et K_{GES}^{50} . C'est ce qui sera proposé dans l'analyse qui suit avec la détermination de la valeur $V_{Y\lambda mu}$ qui représente la valeur unitaire du dommage imputable aux émissions du pays Y sur la période 2011-2050 en fonction de sa stratégie λ .

$$V_{Y\lambda mu} = 0,5(D_{Y\lambda u}^{10} + D_{Y\lambda u}^{50}) \quad (4)$$

Le problème du choix de la détermination de « bonne » trajectoire sera traité plus loin de façon spécifique au chapitre 8.

Cette discussion montre qu'il existe une pluralité de modes de calcul plausibles pour imputer une part de la valeur des dommages climatiques aux émissions du pays Y sur la période 2011-2050. C'est ce qui a conduit à tester les bases suivantes (B1, B2, B3), qui seront utilisées en faisant varier deux autres variables : l'horizon temporel (140 ou 290 ans) et le taux de croissance économique mondial par tête (2 % ou 1,3 %).

4.2.2.1. B1 : le stock atmosphérique de carbone associé aux niveaux de concentration caractéristique de chaque scénario de référence

La première base (B1) part du dommage associé au niveau de concentration atmosphérique de GES qui sera atteint en 2050 selon les différents scénarios S_j . Elle reflète le positionnement le plus « physique » de l'imputabilité : le pays Y définit sa part des dommages à partir de sa contribution physique à l'accumulation atmosphérique de GES, jaugée au vu du stock total de GES prévu en 2050 par chaque scénario S_j , sans préjuger de l'origine de ce stock et de son évolution après 2050. C'est la contribution du carbone ajouté par ses émissions dans le stock atmosphérique total sur la période 2011-2050 qui détermine à ses yeux la part des dommages qui lui incombe. Le pays Y se pose alors la question de façon comparative : quel serait l'état du carbone atmosphérique – et des dommages climatiques – si j'émettais zéro émission en 2011-2050 et que seraient-ils si j'émettais x ou y tonnes de GES ? La différence entre le niveau des dommages sans et avec sa participation à l'émission de GES constitue ici sa base d'imputation.

Soit $^{B1}D_{Y\lambda}^{Sj11-50}$ la valeur actuelle des dommages climatiques totaux imputables au pays Y pour ses émissions de la période 2011-2050 avec la base B1, en supposant que la totalité du budget d'émission disponible pour la période est émise par Y en 2050. On a :

$$^{B1}D_{Y\lambda}^{Sj11-50} = (R_i^{50} * E_{Y\lambda}^{11-50} / K_{CO_2}^{Sj50}) * f(D_W^{Sj50})$$

$^{B1}D_{Y\lambda}^{Sj11-50}$ dépend du montant du budget de CO_2 $E_{Y\lambda}^{11-50}$ du pays Y pour sa stratégie λ et de la valeur 2050 de la concentration atmosphérique en GES pour le scénario climatique mondial S_j considéré ; cette valeur dépend aussi du taux d'actualisation r et du cadre normatif $f(.)$ retenu par le pays Y pour définir la part des dommages mondiaux qu'il accepte d'assumer.

À l'échelle planétaire, la valeur actuelle unitaire du dommage induit par tonne de CO_2 se déduit de l'évaluation globale des dommages. Par construction cette valeur est unique, dans la mesure où chaque tonne de CO_2 du stock atmosphérique est à l'origine du même quantum de dommage climatique. Cependant, vue par chaque pays, cette valeur peut différer d'un pays à l'autre du fait d'une exposition différente au dommage climatique, du choix d'un cadre normatif $f(.)$ différent, ou d'un arbitrage différent sur le taux d'actualisation²⁹. On a donc, pour la valeur actuelle unitaire du dommage imputable à l'émission en 2050 d'une tonne de CO_2 par le pays Y :

$$^{B1}D_{Y\lambda u}^{Sj11-50} = (R_i^{50} / K_{CO_2}^{Sj50}) * f(D_W^{Sj50}) \quad (5)$$

²⁹ Naturellement les pays se distinguent également par la valeur totale des dommages qui leur sont imputables, du fait des différences parfois importantes qui sépareront leurs niveaux d'émissions pour la période 2011-2050.

On obtient finalement la valeur actuelle unitaire en 2010 du dommage climatique imputable au pays Y :

$${}^{B1}V_{Y\lambda mu}S_{j11-50} = 0,5({}^{B1}D_{Y\lambda u}^{10} + {}^{B1}D_{Y\lambda u}S_{j11-50}) \quad (6)$$

4.2.2.2. B2 : la part anthropique du stock atmosphérique de carbone, ajoutée par les émissions de la période 1750-2050

La deuxième base (B2) part du dommage associé au niveau de concentration atmosphérique de GES qui sera atteint en 2050 selon les différents scénarios S_j . Le pays Y définit sa part des dommages à partir de ses émissions de CO_2 sur la période 2011-2050 en les rapportant au total des émissions mondiales cumulées entre 1750 et 2050 pour chaque scénario S_j . Soit ${}^{B2}D_{Y\lambda u}S_{j11-50}$ la valeur actuelle unitaire des dommages climatiques imputables au pays Y, sur la base B2, pour ses émissions de la période 2011-2050 en supposant que ces émissions ajoutent leur part aux concentrations atteintes en 2050. On a :

$${}^{B2}D_{Y\lambda u}S_{j11-50} = (1 / E_W^{S_j1750-2050}) * f(D_W^{S_j50}) \quad (7)$$

avec $E_W^{S_j1750-2050}$, les émissions cumulées à l'échelle mondiale entre 1750 et 2050, incluant par construction celles du pays Y sans qu'elles soient isolées dans le décompte

On en déduit la valeur de référence du dommage imputable au pays Y :

$${}^{B2}V_{Y\lambda mu}S_{j11-50} = 0,5({}^{B2}D_{Y\lambda u}^{10} + {}^{B2}D_{Y\lambda u}S_{j11-50}) \quad (8)$$

4.2.2.3. B3 : les émissions mondiales de CO_2 sur la période 2011-2050

La troisième base (B3) est centrée sur les dommages additionnels résultant des émissions mondiales sur la période 2011-2050 pour déterminer la valeur unitaire de ces dommages additionnels à imputer aux émissions du pays Y. Avec cette base, l'évaluation ne se mêle pas de l'imputation des dommages déjà « acquis » par le niveau de concentration de GES atteint en 2010. La procédure de calcul est la suivante : on évalue le niveau des dommages climatiques résultant du niveau de concentration en GES atteint en 2050 pour chaque scénario, puis on en soustrait le montant des dommages climatiques déjà associés au niveau de concentration de GES atteint en 2010. On obtient ainsi le dommage additionnel attribuable à la tranche 2011-2050 de chaque scénario. Il reste à imputer au pays Y sa part de ce dommage additionnel proportionnellement au poids de son budget en CO_2 sur la période 2011-2050 dans le budget en CO_2 de l'ensemble des pays sur la même période.

En reprenant les notations précédentes, la valeur actuelle des dommages planétaires attribuables aux émissions totales de la période 2011-2050 si elles étaient réalisées d'un coup en 2050 s'obtient ainsi :

$${}^{B3}D_W^{Sj11-50} = D_W^{Sj50} - D_W^{10} \quad (9)$$

La valeur actuelle du dommage unitaire additionnel entraîné par tonne de GES émise par le pays Y sur la période 2011-2050 se surajoutant au dommage entraîné par le niveau de concentration atteint en 2010 est égale à :

$${}^{B3}D_{Y\lambda u}^{Sj11-50} = (1/E_W^{11-50}) * f({}^{B3}D_W^{Sj11-50}) \quad (10)$$

On en déduit la valeur de référence du dommage imputable au pays Y :

$${}^{B3}V_{Y\lambda mu}^{Sj11-50} = 0,5({}^{B3}D_{Y\lambda u}^{10} + {}^{B3}D_{Y\lambda u}^{Sj11-50}) \quad (11)$$

4.3. Différents positionnements éthico-normatifs

Les positionnements éthico-normatifs déterminent les valeurs relatives employées pour évaluer l'incidence des options de stratégies climatiques sur les dommages climatiques selon les scénarios de référence mis en avant par les approches cognitives. Je considérerai les effets de cinq de ces positionnements. Les quatre premiers ont en commun de pouvoir s'inscrire dans une démarche de type « coût-bénéfice », c'est-à dire d'un jugement sur l'action à mener qui soit établi en fonction du rapport entre les bénéfices escomptés (ici l'évitement d'un dommage climatique) et les coûts à consentir pour les obtenir. Le cinquième s'inscrit dans une perspective différente, celle d'une norme exogène d'évitement du danger climatique sur laquelle la communauté internationale s'est accordée d'une façon publique et, théoriquement, engageante (Convention-climat de 1992, Accord de Copenhague de 2009). Tous permettent néanmoins, à travers ces filtres cognitifs et éthiques, d'approcher la valeur monétaire actuelle attribuée au dommage climatique moyen par tonne de CO₂ émise.

4.3.1. Un égocentrisme international et intergénérationnel

Ici le pays Y n'envisage les bénéfices de ses propres actions de réduction des émissions de GES que pour les populations actuellement placées sous sa tutelle souveraine (les résidents sur son territoire). À cet effet, il cherche à comparer les coûts et les bénéfices, pour ces populations, de divers objectifs possibles de maîtrise de ses propres émissions de GES. Il ne se préoccupe pas de l'incidence de son action sur les coûts et les bénéfices des autres pays. C'est cette approche qui fut apparemment retenue au début des années 1990 par le gouvernement des États-Unis sous la présidence de Georges Bush senior pour décider de ne pas engager ce pays dans une politique active, nationale et internationale, de lutte contre l'effet de serre³⁰.

³⁰ Voir sur ce point le bilan coûts-avantages dressé pour les États-Unis par R. Stewart et J.B. Wiener (2003, p.44-53). Wiener était en 1992 membre de l'*Office of Science and Technology Policy*, à la présidence des États-Unis, où il suivait la préparation du Sommet de Rio qui devait se tenir en juin de cette année et les négociations sur la Convention-climat.

Les bénéfices qu'un pays peut escompter dans ce cadre résultent principalement de la baisse relative des dommages climatiques dont sa population aurait à souffrir, mais aussi de co-bénéfices annexes pouvant sous-tendre ce qu'on appelle des actions « sans regrets ».

Ce positionnement demeure centré sur les intérêts des générations présentes et sur la propre appréciation portée par ces générations sur les intérêts des générations qui vont leur succéder ; cela se fait à travers les comportements d'épargne et les taux d'intérêt de moyen terme prévalant d'une façon générale dans l'économie du pays. La logique de ces comportements n'accorde pas de considération particulière aux générations futures éloignées pour la simple raison que ces dernières sont considérées comme devant être beaucoup plus riches que les générations présentes sous l'effet de la continuation du processus de croissance économique. Techniquement, ce positionnement s'exprime dans un taux d'actualisation assez élevé pour des enjeux de long terme, fixé ici à 5,5 % comme le fait William Nordhaus de façon courante avec son modèle DICE (Botzen et al., 2012)³¹ en se référant à la rémunération du capital sur les marchés, hors épisodes de crise économique.

4.3.2. Un « patriotisme » empreint d'altruisme dynastique³²

Ce positionnement combine un égocentrisme ignorant l'intérêt des populations des autres pays et un intérêt éthique du pays Y pour « ses » générations futures : les enfants de « ses » enfants... Il diffère concrètement du précédent par le taux d'actualisation utilisé. Afin d'accentuer le contraste, pour une hypothèse de croissance par tête de 2 %, le taux est fixé à 2,1 %, et pour une croissance de 1,3 %, à 1,4 %. Ces valeurs basses reposent en premier lieu sur un taux de 0,1 % de préférence pure pour le présent justifié par un principe éthique d'égale attention accordée à l'utilité de toutes les générations, même éloignées. La portée de ce principe est seulement atténuée par la faible probabilité que les générations futures n'existent pas. Elles supposent aussi une élasticité de l'utilité marginale de la consommation égale à 1, comme dans le rapport Stern (2006).

³¹ Ce taux de 5,5 % résulte du jeu d'hypothèses suivantes : 1,5 % de préférence pure pour le présent, une élasticité de l'utilité marginale de la consommation égale à 2, et un taux de croissance par tête de 2 %. Dans sa revue du rapport Stern (2006), Martin Weitzman (2007) notait à propos du taux d'actualisation que n'importe quel économiste interrogé sur le taux à employer, répondrait spontanément 6 %, sur la base d'un triplé de 2 pour ces valeurs caractéristiques. Stern, quant à lui, utilisait un taux de 1,4 % pour un triplé de valeurs {0,1 % ; 1 ; 1,3 %}.

³² J'emprunte ce qualificatif à Franck Lecocq (2000) qui a examiné dans sa thèse les implications d'une norme éthique de comportement désignée comme « solidarité dynastique ». Lecocq et Hourcade (2012) ont repris ce concept dans une analyse de la viabilité des mandats possibles de négociations internationales sur le climat.

4.3.3. Un solidarisme international intragénérationnel

Ici la responsabilité envers autrui s'étend à tous les contemporains à l'échelle mondiale : pour faire ses choix, le pays Y considère l'incidence de ses actions sur les populations du monde entier, sans distinction de nationalité, sous la forme du bénéfice planétaire (limitation des dommages) permis par une réduction de ses émissions nationales. En revanche, l'attention prioritaire manifestée envers les générations présentes et en particulier envers les plus démunies et les plus vulnérables des populations actuelles le conduit à adopter un taux d'actualisation standard, de 5,5 %. Le positionnement de la Banque mondiale (Birdsall and Steer, 1993) face à l'évaluation de Cline (1992), ou celui de Partha Dasgupta (2007) face au rapport Stern (2006) illustraient bien le soutien intellectuel donné à des taux d'actualisation sensiblement plus élevés que les 1,4 % de Stern, au nom de la priorité à accorder aux plus pauvres d'aujourd'hui.

4.3.4. Un altruisme cosmopolitique (international et intergénérationnel)

Pétri de valeurs universelles, le pays Y est ici soucieux à la fois du bien-être et des droits de toutes les personnes vivantes à travers le monde mais aussi du sort de l'humanité future. Cela se traduit concrètement par la prise en compte du bénéfice mondial de ses actions de réduction des émissions et par le choix de taux d'actualisation plus bas que le taux de référence de 5,5 %. Différentes valeurs sont testées dans cette direction, qui sont autant de degrés dans un altruisme transgénérationnel croissant : 4 %, 3,25 %, 3 %, 2,5 %, 2,1 % pour une hypothèse de croissance par tête de 2 %, auxquelles s'ajoute une valeur de 1,4 % pour l'hypothèse de croissance de 1,3 %. Cette palette de valeurs permet de déterminer la sensibilité des résultats à cette variable de l'actualisation³³.

4.3.5. Un positionnement « kanto-millien »

Ce positionnement normatif rompt avec les logiques précédentes qui faisaient dépendre le choix d'une stratégie d'une comparaison entre dommages et bénéfices. Il repose en effet sur la recherche d'une norme éthique exogène à l'analyse des coûts et des dommages. Il est dit « kanto-millien » car il reprend l'heuristique de l'universalisation comme mode de détermination de l'action bonne³⁴. Cette heuristique est défendue par deux

³³ Les différences de taux d'actualisation expliquaient ainsi l'essentiel de la différence radicale d'évaluation et de préconisations entre Stern et Nordhaus en 2006, même si d'autres modélisations centrées sur l'incertitude des principales variables tendent à minorer l'impact de l'actualisation sur les actions à engager à court terme (Hourcade et al., 2003).

³⁴ Sur l'application d'une approche dite « kantienne » à des problèmes économiques, voir l'approche pionnière de J.J. Laffont (1975). Ce dernier voyait alors dans des politiques

théories morales parmi les plus influentes bien que largement opposées, celle d'Emmanuel Kant et celle de John Stuart Mill.

En 1785, dans son ouvrage *Fondation de la métaphysique des mœurs*, Kant donnait l'une des expressions de l'impératif catégorique, pilier de sa théorie morale « *Agis uniquement d'après la maxime qui fait que tu peux vouloir en même temps qu'elle devienne une loi universelle.* » Le devoir moral repose exclusivement sur la reconnaissance de normes universalisables. La volonté s'alimentant à ce discernement est bonne et l'action dans laquelle elle s'incarne est juste, quelles qu'en soient les conséquences particulières. Ce sont les exigences de la raison (principe d'universalité et de non-contradiction) qui sont ainsi au cœur de la position kantienne. Son enjeu est celui de l'universalité des « bonnes raisons » contre toute approche qu'en langage moderne on désignerait comme « opportuniste », faisant dépendre l'action bonne des « circonstances ». Certes le jugement sur les qualités d'une règle de comportement dans l'hypothèse d'une application universelle ne peut éviter d'examiner les conséquences de l'universalisation de son règne pour des réalités qui échappent au sens commun comme le changement climatique³⁵. C'est ce que retiendra John Stuart Mill.

En effet quelque 80 ans plus tard, en 1861, Mill donnait une version conséquentialiste de cette même heuristique de l'universalisation dans son ouvrage *L'utilitarisme* (1988, p. 71) : « *À la vérité, dans les cas où on se retient d'agir – lorsqu'il s'agit de choses que l'on s'abstient de faire en raison de considérations morales, quoique les conséquences dans le cas particulier puissent être avantageuses – il serait indigne d'un agent intelligent de ne pas comprendre que les actes de cette catégorie, si la pratique en était universelle, seraient universellement nuisibles et que c'est cela qui fonde l'obligation de s'en abstenir.* » Pour les deux auteurs l'affaire est autant une question de rationalité que de moralité, si l'on était tenté de séparer ces deux concepts. Comme le dit Mill (1988, p. 78), « *il n'est nullement difficile de prouver qu'un principe moral quelconque joue mal si l'on suppose qu'il coexiste avec une sottise universelle.* »

d'information visant à inciter les agents économiques à se comporter de façon kantienne le principe de solutions de plusieurs problèmes comme les problèmes d'externalités et la prise en compte de contraintes macroéconomiques par les comportements individuels. Il situait sa réflexion dans le cadre d'une économie nationale confrontant une autorité publique aux agents économiques. Une telle approche se révèle *a priori* encore plus pertinente à l'échelle internationale en l'absence de gouvernement mondial.

³⁵ Cela ne va pas sans difficultés pour une morale kantienne qui est une morale déontologique de conformité de la volonté à la loi et qui s'oppose au conséquentialisme. À l'époque de Kant, il paraissait simple de juger de la moralité d'une action en se référant au « sens commun » : « *Il n'est besoin ni de science ni de philosophie pour savoir ce qu'on a à faire, pour être honnête et bon, même sage et vertueux* », écrivait-il. Difficile de reprendre cette assertion comme fondement d'une éthique de la question environnementale au XXI^e siècle. Ce constat n'enlève rien à la force de l'heuristique d'universalisation qui se trouve au contraire appelée par la nature planétaire des enjeux considérés.

Appliqué aux relations internationales, ce raisonnement voudrait qu'une règle de comportement ne soit jugée bonne et rationnelle par et pour un pays que si ce pays persiste à la juger bonne et rationnelle, tous comptes faits, lorsqu'il envisage son application universelle. Par exemple, un pays ne pourrait vouloir se doter de l'arme nucléaire que s'il jugeait bonne la situation dans laquelle chaque pays en disposerait. Le recours à ce type d'arme serait immoral si son jugement sur l'universalisation était négatif. Pour le climat cela veut dire : le gouvernement du pays Y doit se donner un principe d'action tel que si l'humanité entière l'adoptait, le résultat obtenu le satisferait sans contradiction. De façon empirique, compte tenu des engagements internationaux déjà pris de façon universelle par les 192 pays qui ont ratifié la Convention climat de 1992, plusieurs repères permettent *a priori* d'encadrer un tel principe d'action face au problème climatique : (a) « empêcher toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique de la Terre » ; (b) répartir les efforts en fonction « des principes d'équité, de responsabilités communes mais différenciées et des capacités de chaque pays », principes qui ont initialement conduit la communauté internationale à distinguer les obligations respectives des pays d'industrialisation ancienne et des pays émergents et en développement. À cela s'ajoute la cible des 2°C de réchauffement mentionnée dans l'Accord de Copenhague en 2009 et interprétée comme une valeur espérée plus que comme une cible impérative. En l'état des connaissances cette valeur conduit à fixer une cible de concentration de GES ne dépassant pas les 442 ppm de CO_{2e}. Le souci d'équité distributive conduit par ailleurs à une répartition des efforts impliquant au moins un abattement des émissions d'un facteur 4 en 2050 par rapport à 1990 pour les pays d'industrialisation ancienne.

Cette approche « kanto-millienne » ne suppose pas, au stade de l'examen des règles possibles, que les autres pays se comportent effectivement selon la règle validée par le test d'universalisation, ni ne conditionne l'application de la règle « bonne » au fait qu'elle soit respectée par tous les autres ; elle représente un « impératif catégorique » et non-hypothétique dans la ligne kantienne, et un « devoir », dans la ligne millienne. Elle ne suppose pas davantage que prennent place une communication et une coordination effective avec tous les autres pays. Elle permet de déterminer un choix unilatéral mais néanmoins soucieux de son fondement éthique universel.

Chapitre 5

Paramètres de l'évaluation

Le traitement du problème de l'articulation entre choix nationaux et scénarios mondiaux à partir d'une évaluation des dommages climatiques associés à différents niveaux de concentration atmosphérique en GES requiert la détermination de quelques paramètres importants. Au nombre de ces derniers, se trouve le choix de l'horizon de l'évaluation, puisque le phénomène en jeu étend ses ramifications sur le temps long des phénomènes géologiques. Ce paramètre soulève d'importantes questions sur la manière d'opérer de façon non arbitraire la clôture opérationnelle d'un horizon de très long terme. Une question tout aussi importante du point de vue empirique, mais au contenu davantage scientifique que métaphysique, concerne les valeurs retenues pour la fonction de réponse climatique à différents niveaux de concentration atmosphérique en GES.

5.1. L'horizon de l'évaluation

Même si tout flux net d'émissions anthropiques de GES était ramené à zéro les conséquences physiques du changement de climat se feraient sentir pendant plusieurs millénaires. Comment évaluer de façon pertinente des changements climatiques sur de tels horizons pour en imputer la responsabilité à des acteurs identifiés (États, entreprises, particuliers...) ? Ce sont les fondements cognitifs d'une démarche d'évaluation reposant sur la comparaison de différents coûts et bénéfices qui ne sont plus assurés. En effet quelle situation de référence permettrait une analyse par différences ? Comment projeter un scénario crédible de croissance économique sur ces horizons, puisqu'il est d'usage d'évaluer ces dommages en pourcentage de PIB perdus ? Que dire de la démographie ? Du progrès technique ? Etc. La nécessité d'une clôture de l'horizon, d'un point d'arrêt s'impose. Mais existe-t-il un moyen de procéder de façon non arbitraire ?

On peut apporter deux types de réponses au problème du choix de l'horizon temporel de l'évaluation. L'un se situe dans un cadre utilitariste³⁶ et empirique et le second s'attache à prendre en compte un problème important pour la réflexion philosophique sur les liens entre générations éloignées, celui de la « non-identité ».

L'approche empirique de type utilitariste est celle que William Cline (1992) avait adoptée le premier en fonction des savoirs alors disponibles sur le cycle du carbone. L'évaluation très agrégée à laquelle il avait procédé avait pris en compte une période de 300 ans, au motif qu'à cet horizon la plus grande partie du carbone atmosphérique aurait été recyclée dans les puits océanique et terrestre de carbone. Il s'agissait en quelque sorte à ses yeux du pas de temps sur lequel les générations présentes pourraient être tenues pour redevables des causes du changement climatique. L'horizon choisi était donc ici déterminé par les conditions de l'agir et pas par les caractéristiques objectives des transformations du climat de la planète, qui s'étendent bien au-delà (acidification et niveau des océans, transformations écologiques, etc.). Une autre justification au choix de cet horizon peut être avancée dans ce cadre : le gros du changement climatique qui devra se produire *in fine* sera engagé et les populations du futur qui auront à vivre vers la fin de cette période de 300 ans auront dû s'adapter en profondeur à ces nouvelles conditions géophysiques ; leur économie, en quelque sorte, aura dû faire corps avec ce nouvel état de la planète. Dans ces conditions, cela n'a plus de sens de continuer à déterminer des dommages en fonction d'une situation de référence hypothétique mais disparue de tout horizon pratico-historique, comme le serait alors la référence au climat connu au milieu du XX^e siècle. Il est en effet intrinsèque à la démarche coûts-bénéfices de comparer des alternatives auxquelles on reconnaît une possibilité crédible de concrétisation.

Certes, à cet horizon de 300 ans, ne peut-on pas se livrer à une évaluation économique circonscrite, mais seulement à une expérience de pensée épurée jouant de la combinaison de quelques hypothèses portant sur un nombre limité de variables comme la croissance économique, une fonction de bien-être et une fonction de dommage. Cette approche peut être suffisante pour planter un décor ou pour justifier de façon raisonnée l'idée de stratégies fortes de prévention du risque climatique planétaire, ce que

³⁶ Au sens économique le plus ordinaire, l'utilitarisme est une forme de conséquentialisme qui impute à la société l'objectif du plus grand bien-être matériel possible pour le plus grand nombre possible. Dans son acception cardinale commune, il manifeste une indifférence à l'identité des sujets humains et postule la possibilité de se livrer à des calculs sur le bien-être collectif qui fassent abstraction de cette identité. Tout se passe alors comme si une substance homogène, l'utilité ou le bien-être, était détachable des personnes humaines qui n'en seraient en quelque sorte que les dépositaires anonymes. Concrètement, l'analyse évalue « l'utilité » atteinte par la population humaine future au sein de différents scénarios à long terme, peu importe que cette population soit composée de personnes totalement différentes d'un scénario à l'autre.

faisait Cline en 1992, d'une façon que le rapport Stern (2006) a confirmé une décennie et demie plus tard mais en proposant une évaluation s'arrêtant en 2200.

En s'écartant de l'utilitarisme économique, la réflexion philosophique et juridique s'est portée sur les conditions dans laquelle l'idée d'une responsabilité pour les « dommages imposés aux générations futures » peut trouver sens (Jonas, 1990 ; Ricoeur, 1991, 1995 ; Tremmel, 2006 ; Gorgoni, 2008). Un de ses points focaux est la mutation du concept standard de responsabilité, attaché de façon classique à des actions passées menées dans un cadre de réciprocité relationnelle, vers une conception unilatérale et prospective. Cette dernière a l'inconvénient pratique d'accentuer les problèmes et difficultés attachées à l'imputabilité, mais plus largement à la théorie morale de l'agir humain³⁷. Elle a aussi pour enjeu la reconnaissance, proposée par certains mais très débattue (Beckerman et Pasek, 2001 ; Beckerman 2006, Godard, 2010), de « droits » aux générations futures³⁸.

En fait l'un des principaux problèmes sur lesquels butent les raisonnements sur le très long terme lorsqu'on sort du cadre utilitariste commun est ce qui a été désigné comme le problème de la 'non-identité'. Ce problème a été initialement soulevé par Thomas Schwartz (1978) dans le contexte des relations entre générations éloignées, puis analysé de façon plus complète par Derek Parfit (1984) et repris ensuite par nombre d'auteurs. Il se présente lorsque l'idée de dommages est réinsérée dans une analyse contrefactuelle mettant en jeu l'identité des sujets humains. En voici la teneur.

Admettons que les générations futures se vivent à l'avenir comme ayant à souffrir de dommages climatiques résultant des comportements « irresponsables » des générations antérieures depuis 1750 ; imaginons qu'elles puissent en faire le reproche à leurs ancêtres et leur demander des comptes ; imaginons encore que ce reproche putatif ait été anticipé par les générations antérieures et que ces dernières, face à cette revendication de justice, aient modifié par anticipation leurs comportements de façon à limiter ou éviter ces dommages. Cela leur aurait demandé d'opérer un changement majeur des systèmes énergétiques qui, lui-même, aurait impliqué des changements sociaux importants. La vie quotidienne de tout

³⁷ Ricoeur (1995, p. 68) écrit ainsi : « l'action humaine n'est possible que sous la condition d'un arbitrage concret entre la vision courte d'une responsabilité limitée aux effets prévisibles et maîtrisables d'une action et la vision longue d'une responsabilité illimitée. La négligence entière des effets latéraux de l'action rendrait celle-ci malhonnête, mais une responsabilité illimitée rendrait l'action impossible. »

³⁸ Le premier argument de Beckerman est le suivant : « Unborn people cannot 'have' anything. They do not exist ». Avoir – des droits ou autre chose – présuppose l'existence. La justice traite de la répartition de droits que des sujets « ont » ou devraient « avoir ». Donc l'idée de justice envers les générations futures n'a pas de sens (Beckerman, 2006, p. 53-54).

un chacun en aurait été bouleversée. C'est alors toute l'horlogerie des relations de procréation qui aurait également été modifiée à l'échelle collective. De ce fait les hypothétiques victimes futures des dommages climatiques qui se seraient trouvées en position d'adresser des reproches à leurs ancêtres ne seraient jamais venues à l'existence et auraient laissé la place à d'autres personnes. L'idée même d'une injustice faite à des détenteurs de droits s'autoréfute dans le cadre intergénérationnel examiné car l'idée d'injustice suppose qu'un autre état, réputé « juste », soit accessible à ces détenteurs, au point que ne pas l'atteindre constituerait un dommage fautif que son auteur devrait réparer. Si l'on fait cas de l'identité personnelle des sujets humains, les générations futures éloignées, celles qui ne sont pas nées au moment où des décisions doivent être prises, ne peuvent jamais être en position de reprocher quoi que ce soit à leurs ancêtres car elles sont les enfants des choix de ces derniers pour le meilleur et pour le pire : elles leur doivent la vie dans toutes ses dimensions. Leur identité n'en est pas séparable.

Pour sortir de ce dilemme sans se rabattre sur l'utilitarisme, il faudrait soit mobiliser l'idée de « préjudice pour avoir donné une vie ne méritant pas d'être vécue », soit construire un concept de droit opposable des générations futures à certaines conditions naturelles et, parmi elles, à certaines conditions climatiques, quelles que soient les personnes qui composent ces générations à venir. Ces deux voies rencontrent des obstacles que je juge insurmontables dans le cas du climat.

Considérons la première piste. J'écarte d'abord un scénario littéralement apocalyptique – la fin du monde pour cause de dérèglement climatique – qui serait entièrement attribuable aux choix des générations antérieures pour leurs émissions de GES sur la période 2011-2050 et qui toucherait l'ensemble de la population humaine. Pour le niveau de concentration atmosphérique des GES qui peut être atteint pour les différents scénarios d'émission d'ici 2050, cette perspective est totalement absente des rapports du GIEC et de la littérature scientifique disponible. Dès lors les situations de détresse les plus grandes dont le changement climatique pourrait être une composante causale engageraient d'abord la responsabilité et le sens de la solidarité des contemporains de ces personnes du futur dont il pourrait être jugé que les conditions de vie seraient telles que leur vie serait en soi un préjudice qu'il aurait fallu absolument leur éviter. Dans une telle occurrence, le préjudice engendré par une existence indigne d'être vécue ne pourrait pas être directement imputé aux générations antérieures, mais aux défaillances de la société humaine future et aux manques de solidarité des contemporains de ces personnes, qui, par hypothèse, bénéficieraient, eux, d'une vie méritant d'être vécue. Certes ces derniers pourraient alors être tentés par le ressentiment pour l'injustice que leur auraient infligée ces ancêtres qui les auraient mis dans la situation de devoir assumer une responsabilité coûteuse de solidarité envers les victimes de conditions

« inhumaines ». Toutefois ils retomberaient alors dans l'incohérence logique constitutive du problème de la « non-identité »...

S'agissant de la seconde piste, on doit se demander comment les générations futures pourraient, en tant que telles, disposer de droits actuels. Le problème principal n'est pas la difficulté pratique empêchant, par construction, les générations futures de faire valoir par elles-mêmes leurs éventuels droits : nombre de titulaires de droits (enfants, certains handicapés, ...) sont incapables de les défendre eux-mêmes, mais l'institution juridique prévoit et organise leur représentation. Le problème fondamental est ailleurs. L'institution de droits dévolus à des personnes leur permet d'affirmer leurs projets de vie d'une manière que leurs contemporains doivent respecter. Cela comprend des droits négatifs (« droits contre des atteintes », comme le droit à être protégé contre les agressions menaçant la vie et les biens...) et des droits positifs (« droits à » des services et des prestations, droits à prendre part à la vie sociale et politique). Les concitoyens ont aussi les uns envers les autres des devoirs négatifs (devoir de ne pas nuire à autrui de façon « anormale »³⁹) et positifs (devoirs d'assistance face à des dangers graves et immédiats). En cas de conflits sur la conformité des actions aux droits et obligations respectifs, chacun a le droit de recourir à des procédures impartiales d'arbitrage grâce à l'accès à des institutions judiciaires. Tout cela se passe entre contemporains. Comme l'écrivait Beckerman, les générations futures, n'ayant pas encore d'existence, ne sauraient avoir de droits sur les générations antérieures : l'avoir présuppose l'être ; l'existence est une pré-condition de la faculté d'une personne de se voir reconnaître des droits. Il suffit de remplacer le terme « droits » par celui d'« obligations » pour s'en convaincre. Dirait-on sans sourciller que les générations futures ont, en tant que telles, des obligations actuelles envers les générations présentes ?

Les personnes qui viendront au monde à une date future disposeront alors de droits, mais ces droits ne pourront jamais s'exercer que vis-à-vis de leurs contemporains, ceux avec lesquels elles auront à nouer des coopérations et à surmonter des désaccords, et à propos de conditions et de biens appartenant au monde physique qui leur est contemporain et qui constitue leur « cadre de vie ». De même que les générations présentes n'ont pas de « droits » sur des espèces disparues (le Dodo, les diplodocus...), les générations futures n'ont pas et n'auront pas de droits sur des conditions écologiques qui prévalaient dans un passé plus ou moins lointain pour elles, par exemple les années 1970, mais révolues au moment de leur existence.

Cette discussion confirme la nécessité de limiter conceptuellement la portée de la notion de dommage. Cette dernière se désintègre lorsque les

³⁹ L'expression fait ici référence au concept juridique de « trouble anormal de voisinage » du Code civil.

phénomènes qu'on pourrait être tenté de qualifier de « dommages » sont indissociables de l'identité des personnes considérées. Il en va ici comme des personnes souffrant d'un handicap congénital : elles ne peuvent pas faire reproche à leurs parents de leur avoir occasionné un dommage. En effet si leurs parents avaient pris certaines dispositions pour éviter leur naissance, les personnes éventuellement nées sans ce handicap auraient été des personnes différentes et pas les mêmes personnes sans le handicap⁴⁰.

L'expression française « mettre au monde » signifie bien cette solidarité la plus intime entre les humains et le monde auquel ils sont donnés et qui résulte de toute une histoire à la fois naturelle et humaine. Quel que soit l'état du monde transmis, l'identité des personnes futures qui habiteront ce monde-là n'en sera pas détachable. À proprement parler, les dommages climatiques à très long terme n'existent pas, quand bien même les transformations climatiques seraient importantes. Il faut donc se tourner vers d'autres concepts et d'autres méthodes que « l'analyse des dommages » ou que la référence aux « droits des générations futures » pour asseoir l'idée d'une responsabilité des générations présentes pour les évolutions à long terme entraînées par leurs comportements collectifs. J'ai proposé ailleurs des analyses pouvant éclairer une éthique de la transmission d'un patrimoine naturel (Godard, 1990) et une réflexion sur les diverses formes de promesse que peuvent faire les générations présentes à l'intention des générations futures éloignées (Godard, 2010).

Notons que les formes d'utilitarisme qui récusent la comparabilité interpersonnelle des niveaux d'utilité ne sortent pas non plus indemnes de cet argument de la « non-identité » puisque la comparaison des niveaux d'utilité associés à différents scénarios d'action climatique à long terme ne peut pas se faire sur une population identique, mais concernerait des populations différentes aux existences mutuellement exclusives.

Admettons que 100 ans représentent de façon durable l'espérance de vie constitutive de la condition humaine. Les différentes stratégies climatiques que pourraient déployer nos contemporains engendreraient chacune autant de mondes différents, un siècle plus tard, qui seraient habités par des populations humaines totalement différentes. La conclusion opérationnelle est directe : l'analyse des dommages climatiques, *stricto sensu*, à prendre en compte ne devrait pas aller au-delà d'un horizon de 100 ans postérieur au

⁴⁰ Axel Gosseries (2004a) l'avait démontré à propos de l'affaire Perruche en France (un médecin condamné en première instance à réparer le préjudice subi par un enfant né handicapé parce qu'il n'avait pas informé les parents de l'existence de ce handicap qu'il n'avait pas su déceler lors des examens échographiques) : l'idée de dommages subis par une personne devient impropre lorsque le phénomène handicapant est inséparable de l'identité des personnes concernées, ce qui est le cas de personnes handicapées de façon congénitale. Elles n'ont, si l'on peut dire, qu'une seule alternative : ne pas exister ou exister avec leur handicap. Dans le second cas, ce sont bien leurs contemporains qui ont des obligations d'assistance et de solidarité à leur égard.

terme de la période décisionnelle considérée. De façon concrète, pour un jeu décisionnel défini sur la période 2011-2050, l'horizon pertinent d'une évaluation mobilisant le concept de dommages devrait se limiter à l'an 2150.

Les évaluations présentées plus loin seront menées sur deux horizons pour l'analyse des dommages climatiques à imputer à partir de 2011 : jusqu'en 2300, comme Cline (1992), et jusqu'en 2150, comme le justifie la réflexion sur l'idée de dommage. La comparaison des résultats obtenus permettra de se faire une idée de l'importance empirique qu'il y a à étendre l'évaluation économique sur des horizons très éloignés, au-delà de la limite imposée par l'utilisation rigoureuse des concepts.

5.2. La fonction de réponse du système climatique à l'accroissement des concentrations de GES et la fonction de dommage

Les dommages climatiques sont déterminés comme une fonction des niveaux d'accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère terrestre par rapport au niveau préindustriel. Et l'évolution de la température moyenne est une fonction de la concentration des GES. Pour déterminer les niveaux de température, j'utiliserai deux jeux de valeurs représentant la réponse du système climatique à un niveau donné de concentration atmosphérique en GES, telle que représentée sur la figure 1 au chapitre 2, extraite du 4^e rapport du GIEC (2007). Les valeurs retenues sont récapitulées sur la figure 5 : le premier jeu correspond aux valeurs médianes $M(\Delta\theta)$ de cette fonction de réponse, et le second aux valeurs extrêmes supérieures – les pires – de la fourchette représentée $P(\Delta\theta)$.

S'agissant de la fonction de dommages il était important d'éviter l'obtention de résultats qui seraient peu significatifs en étant le produit d'hypothèses par trop lénifiantes : si l'on pense que les dommages climatiques seront négligeables, il va de soi qu'il n'y a pas lieu de bouleverser les systèmes énergétiques en place pour éviter ces dommages. Je me suis donc calé sur la plus élevée des évaluations des dommages proposées par Nordhaus et Boyer (2000), telle que retracée sous l'appellation « Nordhaus, population » sur la figure 6 reprise de Tol et al. (2000)⁴¹. Cette fonction de dommages est analogue, mais pas directement comparable, à celle issue du rapport Stern (2006) montrée sur la figure 7 : l'évaluation proposée par Stern considérerait un spectre plus large de valeurs pour l'accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère terrestre, allant jusqu'à + 9°C et considérerait l'impact sur le PIB par tête.

⁴¹ Les valeurs des dommages représentées sur cette figure jouent un rôle pivot dans l'analyse économique du climat. La figure a été reprise par les rapports du GIEC pour ses 3^e (2001) et 4^e rapports (2007), par le rapport Stern (2006, p. 147) et par l'OCDE dans une étude consacrée à l'évaluation des impacts climatiques (Jamet & Corfee-Morlot, 2009, p. 36).

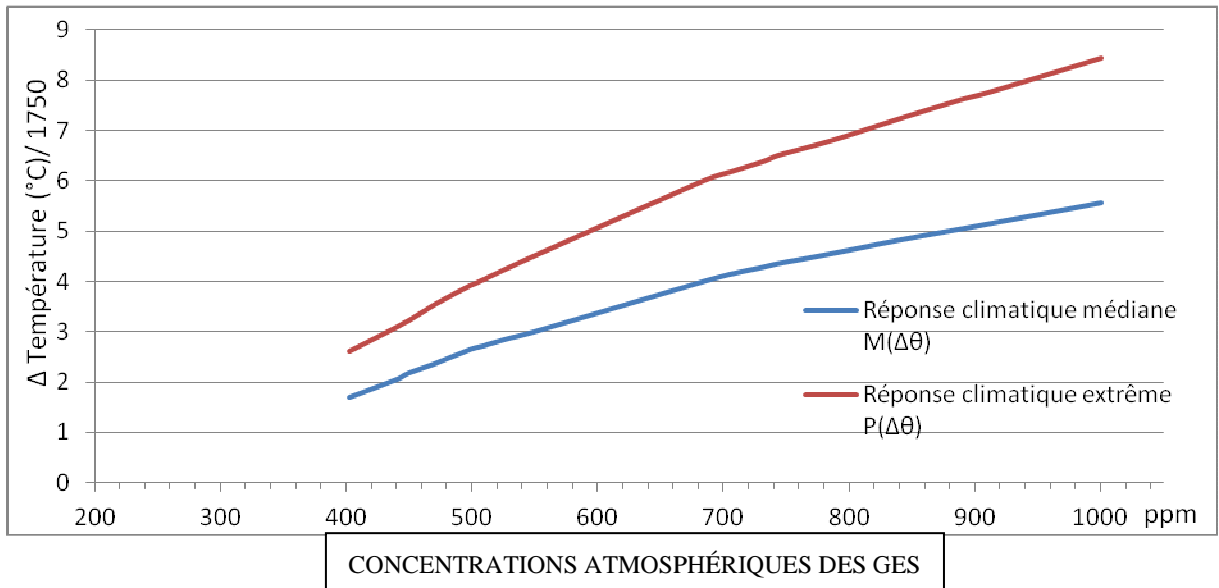
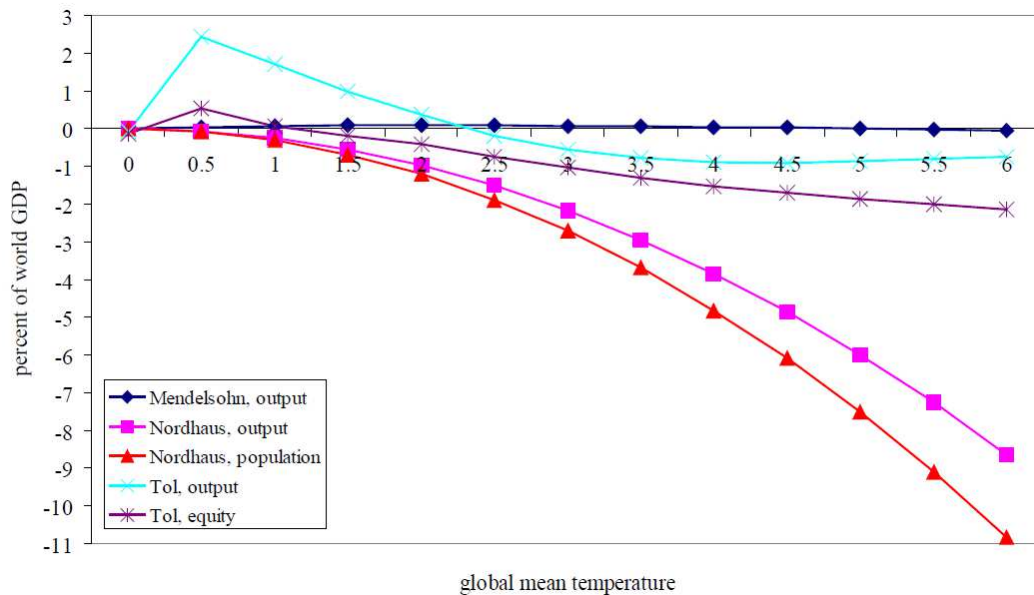
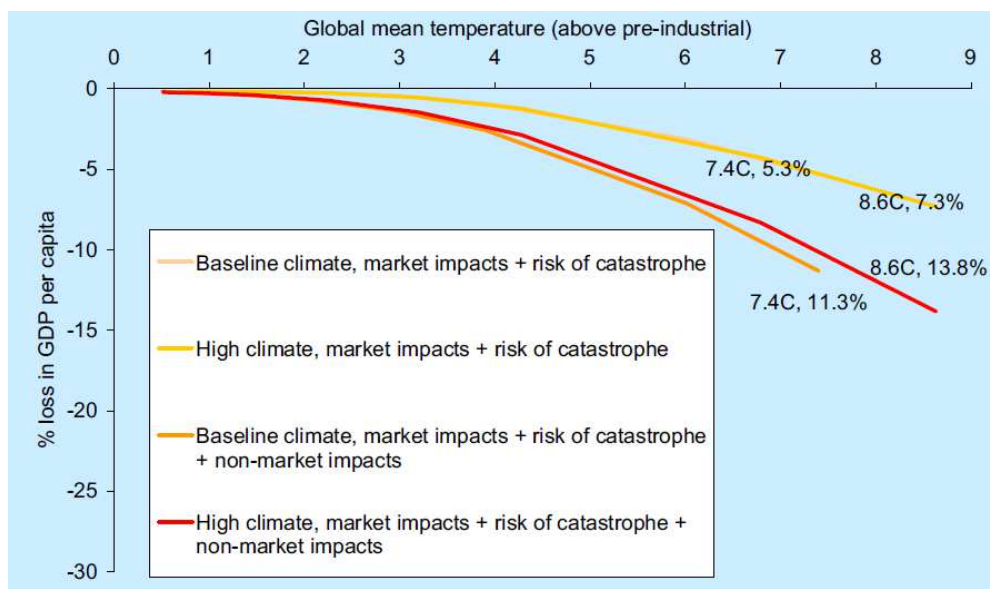


Figure 5 : Accroissement des températures à l'équilibre en fonction des niveaux de concentration atmosphérique des GES



Source : Tol et al. (2000)

Figure 6 : Impact du changement climatique, évalué en % de perte annuelle de PIB mondial, en fonction de l'accroissement de la température moyenne de la planète depuis l'ère préindustrielle.



Source : The Stern Review (2006, p. 159).

Figure 7 : Impact du changement climatique, évalué en % de perte annuelle de PIB mondial par habitant, en fonction de l'accroissement de la température moyenne de la planète depuis l'ère préindustrielle.

Les données issues de la variante « Nordhaus-population »⁴² ont été approximées à l'aide de la formule (12) :

$$D_{W^{Sj}t}^n = h(K_i) = \alpha_i PIB_{W^n}, \text{ avec } \alpha_i = 0,315 (\Delta\theta_i)^2 \quad (12)$$

Avec $h(K_i)$, valeur du dommage climatique annualisé, à l'année n , résultant de la concentration en GES K_i ,

$\Delta\theta_i$, l'accroissement de la température attendu à l'équilibre entre le début de l'ère industrielle et l'année n durant laquelle la concentration en GES K_i est atteinte, et

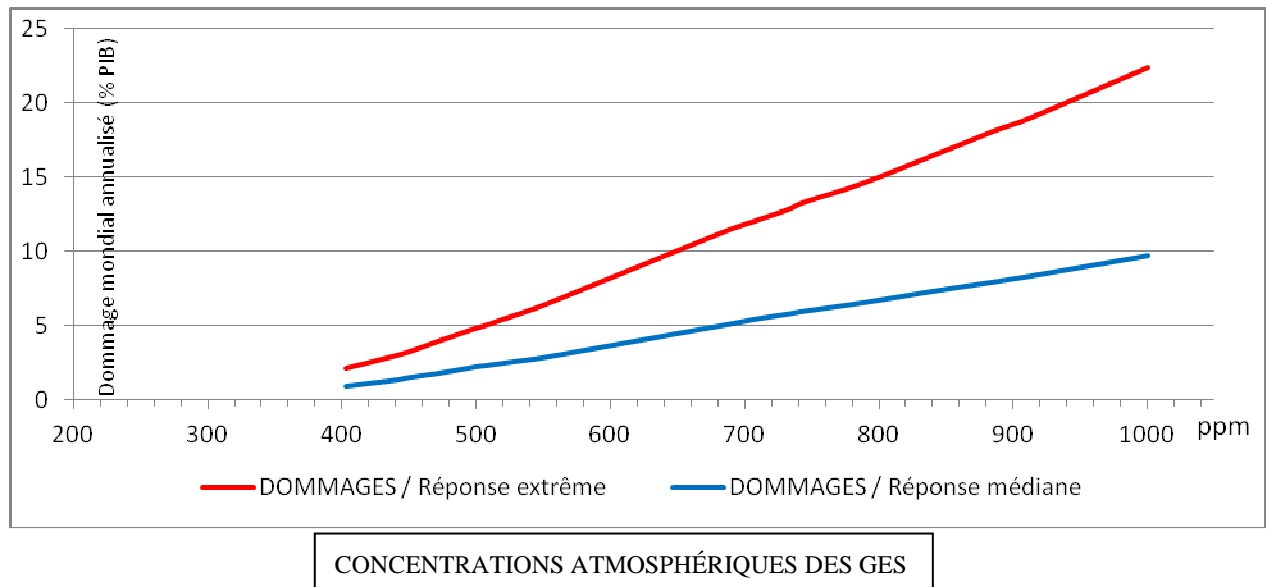
PIB_{W^n} , le PIB mondial de l'année n .

Ces valeurs sont reportées sur la figure 8.

Attardons-nous sur la signification des valeurs ainsi représentées. Les pertes de bien-être économique, évaluées en pourcentage permanent de pertes de PIB équivalentes sont considérables, pouvant aller jusqu'à une estimation annualisée de plus de 20% de pertes chaque année sur tout l'horizon temporel considéré (150 ou 290 ans). Par exemple, pour une concentration à long terme de GES de 940 ppm, la valeur la plus élevée de

⁴² L'évaluation proposée par Stern se distinguait de celle de Nordhaus et Boyer en considérant un spectre plus large de valeurs pour l'accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère terrestre, allant jusqu'à +9°C et en considérant l'impact sur le PIB par tête. Le rapprochement des évaluations demanderait la prise en compte des hypothèses de croissance démographique.

la fonction de réponse du climat détermine un dommage dont la valeur est équivalente à une perte annuelle de 20% du PIB mondial sur deux à trois siècles. Pour donner un repère, la crise financière et économique qui a affecté la Grèce depuis 2008 s'est traduite par une baisse du PIB de 20% entre le 1^{er} trimestre 2008 et le 1^{er} trimestre 2012...



Les valeurs exactes qui sous-tendent ce graphique sont données en annexe 2.

Figure 8 : Valeur du dommage climatique annualisée en % constant du PIB mondial en fonction des niveaux de concentration atmosphérique des GES

C'est ainsi armés de ce cadre d'évaluation que nous pouvons aborder la détermination de la valeur unitaire du dommage climatique imputable au pays Y selon les différentes configurations cognitivo-éthiques.

Chapitre 6

Résultats de l'évaluation des dommages climatiques imputables à un pays

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation entreprise. Leur analyse sera présentée dans le chapitre 7. La définition des configurations examinées au croisement des positionnements cognitifs et des choix normatifs de valorisation des dommages climatiques par tonne de GES émise est représentée dans le tableau 2. Les cases de ce tableau indiquent la valeur unitaire $D_{Y\lambda u}$, par tonne de CO_{2e}, qui serait donnée par le pays Y au dommage climatique engendré par ses propres émissions de GES sur la période 2011-2050 dans les configurations considérées, notamment en fonction de ses stratégies λ . La variable D_{WY} décrit les dommages climatiques mondiaux imputables aux émissions du pays Y. D_{YY} représente les dommages climatiques ressentis par le pays Y du fait de ses propres émissions de GES. Par hypothèse, j'ai posé $D_{YY} = 1\% D_{WY}$, en écho approximatif au poids démographique français, britannique ou allemand dans la population mondiale. Les S^j_j ($j= 450, 550, 1000$) désignent les trois scénarios mondiaux de référence, caractérisés par leur concentration d'équilibre en GES, mesurée en ppm. La valeur unitaire des dommages climatiques mondiaux imputables au pays Y selon les différents cas de figure $V_{Y\lambda mu}$ est définie comme la moyenne de $D_{Y\lambda u}^{10}$ et $D_{Y\lambda u}^{50}$.

Les valeurs des dommages imputables par tonne de CO₂ émise sont données en euro 2010. Elles sont placées en regard de la valeur actuelle du signal-prix qui devrait être introduit dans l'économie du pays Y pour induire une trajectoire de réduction de ses émissions lui permettant d'atteindre la cible du « Facteur 4 » en 2050. Quelle est cette valeur ? Cet ouvrage n'a pas pour but d'examiner de façon précise les conditions économiques de la transition de tel ou tel pays vers la cible du « Facteur 4 ». J'ai donc choisi d'adosser le raisonnement sur l'un des résultats majeurs de la commission mandatée en France pour évaluer la valeur tutélaire du carbone à prendre en compte dans les choix publics pour atteindre cette cible (rapport Quinet, CAS, 2009). Les travaux de modélisation menés à la

demande de cette commission révélaient en effet qu'une valeur de 100 € / tCO₂ évitée en 2030 constituait un point de passage obligé⁴³ identifié par plusieurs modèles, pourtant construits à partir de postulats économiques différents pour représenter la dynamique économique, en particulier pour la pénétration du progrès technique. La plausibilité de cette valeur ne se limite pas à l'hexagone. Les estimations mentionnées par le Quatrième Rapport du GIEC (WG 3, 2007) donnent un prix de référence du carbone à l'échelle mondiale compris dans une fourchette de 70 à 140 €/tCO₂e en 2030 pour un scénario de 450 ppm CO₂e.

Rapport cognitif au monde (imputation causale) Rapport normatif au monde $Vu(D_F)$	Prédictif ≠ scénarios S^P_j (450, 550, 1000 ppm)	« Thomiste » Concentrations de 2010 $S^{T_{403}}$	Symétrie de comportement de tous les pays S^S
Égocentrisme	$D^{P_{YY}}$ pour $S^{P_{450}}, S^{P_{550}}, S^{P_{1000}}$ [1]	$D^{T_{YY}}$ pour $S^{T_{403}}$ [2]	$D^{S_{YY}}$ pour $S^{S_{912}}$ [3]
Patriotisme + altruisme dynastique	$D^{P_{YY}}$ pour $S^{P_{450}}, S^{P_{550}}, S^{P_{1000}}$ [4]	$D^{T_{YY}}$ pour $S^{T_{403}}$ [5]	$D^{S_{YY}}$ pour $S^{S_{888}}$ [6]
Solidarité internationale intragénérationnelle	$D^{P_{WY}}$ pour $S^{P_{450}}, S^{P_{550}}, S^{P_{1000}}$ [7]	$D^{T_{WY}}$ pour $S^{T_{403}}$ [8]	$D^{S_{WY}}$ pour $S^{S_{839}}$ [9]
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) [a] $r = 4 \%$ [b] $r = 3,25 \%$ [c] $r = 3 \%$ [d] $r = 2,5 \%$ [e] $r = 2,1 \%$ [f] $r = 1,4 \%$ quand $g = 1,3 \%$	$D^{P_{WY}}$ pour $S^{P_{450}}, S^{P_{550}}, S^{P_{1000}}$ [10a] $D^{P_{WYa}}$ [10b] $D^{P_{WYb}}$ [10c] $D^{P_{WYc}}$ [10d] $D^{P_{WYd}}$ [10e] $D^{P_{WYe}}$ [10f] $D^{P_{WYf}}$	$D^{T_{WY}}$ pour $S^{T_{403}}$: [11a] $D^{T_{WYa}}$ [11b] $D^{T_{WYb}}$ [11c] $D^{T_{WYc}}$ [11d] $D^{T_{WYd}}$ [11e] $D^{T_{WYe}}$ [11f] $D^{T_{WYf}}$	$D^{S_{WY}}$: [12a] $D^{S_{WYa}}$ pour $S^{S_{787}}$ [12b] $D^{S_{WYb}}$ pour $S^{S_{744}}$ [12c] $D^{S_{WYc}}$ pour $S^{S_{732}}$ [12d] $D^{S_{WYd}}$ pour $S^{S_{706}}$ [12e] $D^{S_{WYe}}$ pour $S^{S_{685}}$ [12f] $D^{S_{WYf}}$ pour $S^{S_{685}}$
Universalisme kanto-millien (test d'universalisation de la règle de comportement) $S^{KM_{442}}$	Valeurs d'équilibre ($V_{Y\lambda mu}$ et r) pour $\Delta T \leq 2^\circ C$ + principes de Rio + contrainte $VtCO_2 = 100 \text{ € en } 2030$ [13]		

Tableau 2 : Structure d'évaluation du dommage climatique par tonne de CO₂ émis par le pays Y de 2011 à 2050 en fonction des positionnements cognitifs et des choix normatifs

Les caractéristiques des scénarios mondiaux sont précisées en Annexe 2. Les scénarios des cases [3], [6], [9] et [12x] de la troisième colonne du tableau supposent une logique de comportement symétrique de tous les pays. Ils ont un mode de calcul identique aux autres mais comportent une

⁴³ Le rapport Syrota de prospective énergétique (CAS, 2007), qui ne visait qu'une cible de type « Facteur 2,1 - 2,4 », proposait une valeur de 70 € en 2030 dans le secteur des transports. Les simulations spécifiquement réalisées en 2005 pour analyser l'impact d'une stratégie de « Facteur 4 » par des économistes de l'énergie avec leur modèle POLES, notamment utilisé par la Commission européenne, donnaient une valeur du CO₂ croissant jusqu'à 600 € en 2050 (Blanchard et al., 2006).

variable qui n'a pas fait l'objet d'une modélisation, mais d'une évaluation à « dires d'expert ». Elle concerne le niveau de concentration des GES résultant de la simultanéité des logiques de comportement à l'échelle mondiale. Les valeurs retenues pour cette variable sont des estimations empiriques plausibles mais ouvertes à la discussion. Elles sont calées sur deux repères principaux : un scénario de laisser-aller climatique, seulement tempéré par les potentiels d'action « sans regrets » ($S^{P_{912}}$), et à l'autre bout, l'évaluation tirée du rapport Stern (2006) mettant en avant un scénario préconisé avoisinant les 550 ppm.

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 9 à 27. Détaillons. Les figures 9 et 10 représentent la valeur actuelle 2010 du dommage unitaire par tonne de CO_{2e} émise en référence au niveau de concentration de GES atteint en 2010, $S^{T_{403}}$, pour deux hypothèses de croissance économique mondiale par habitant $g=2\%$ et $g=1,4\%$. Les figures 11 et 12 font de même pour le scénario $S^{P_{450}}$, les figures 13 et 14 pour le scénario $S^{P_{550}}$, et les figures 15 et 16 pour $S^{P_{1000}}$. Les valeurs correspondant aux scénarios S^S supposant une symétrie de comportement de tous les pays ($S^{S_{912}}$ à $S^{S_{685}}$) sont données dans les figures 17 à 25. Les figures 26 et 27 présentent finalement les valeurs seuil du dommage unitaire et du taux d'actualisation qui peuvent justifier la cible d'un scénario « kanto-millien » $S^{KM_{442}}$, incluant le « Facteur 4 » pour le pays Y.

Pour les figures 9 à 16, on trouve en abscisses les positionnements éthiques, notamment associés à des valeurs spécifiées du taux d'actualisation. Les lignes brisées aux couleurs différentes donnent les valeurs obtenues pour les différentes configurations caractérisées par l'horizon temporel (140 ou 290 ans), le taux de croissance économique par habitant (2% ou 1,3%), la base d'imputation (B1, B2, B3) et la valeur de la fonction de réponse climatique (M, P). La ligne noire avec un halo bleuté indique la valeur actuelle constituant un seuil de compatibilité avec la cible du « Facteur 4 ».

Sur les figures 17 à 25, on trouve en abscisse les configurations étudiées, caractérisées par la valeur de la fonction de réponse climatique (M, P), l'horizon (140 ou 290 ans), la base d'imputation (B1, B2, B3) et le taux de croissance économique par habitant (2% ou 1,3%). Ces configurations sont classées par ordre croissant de la valeur actuelle unitaire des dommages.

Sur les figures 20 à 25, les valeurs représentées sont comparées à la valeur actuelle définissant un seuil de compatibilité avec la cible du « Facteur 4 ».

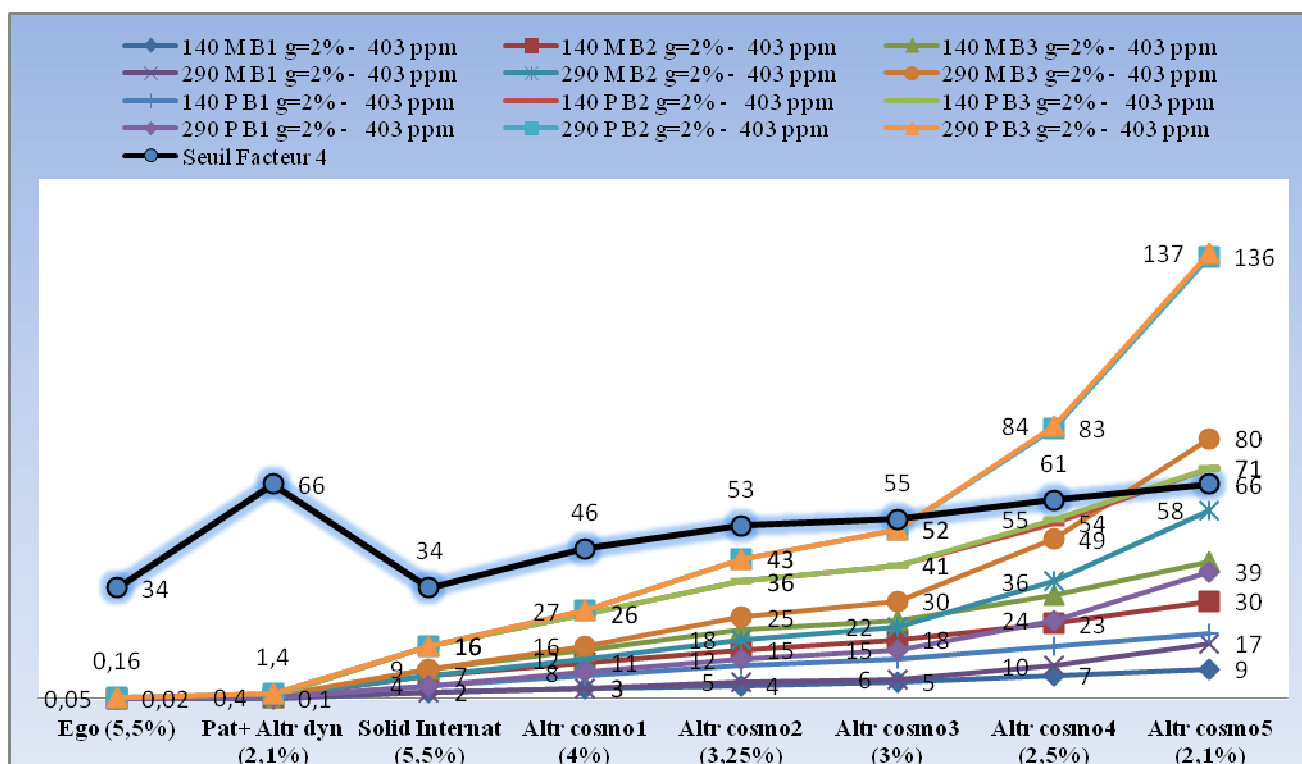


Figure 9 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₄₀₃ et g = 2 %

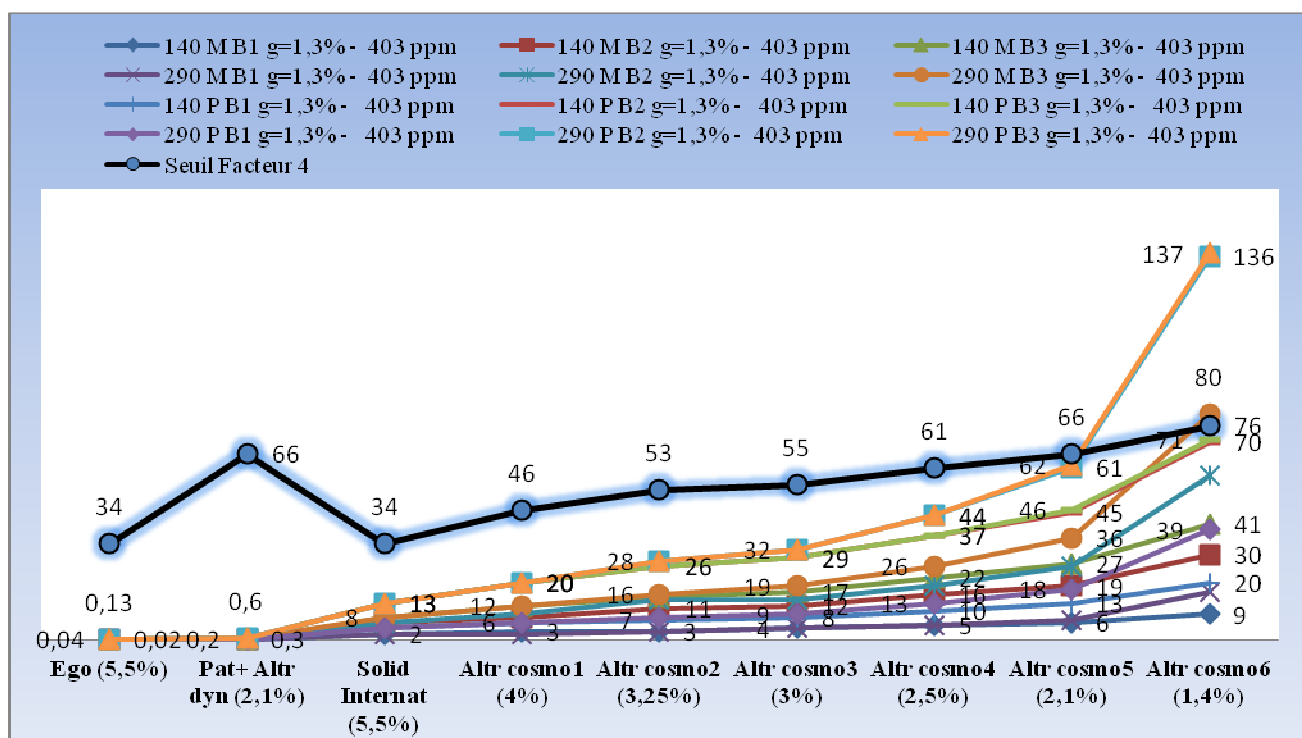
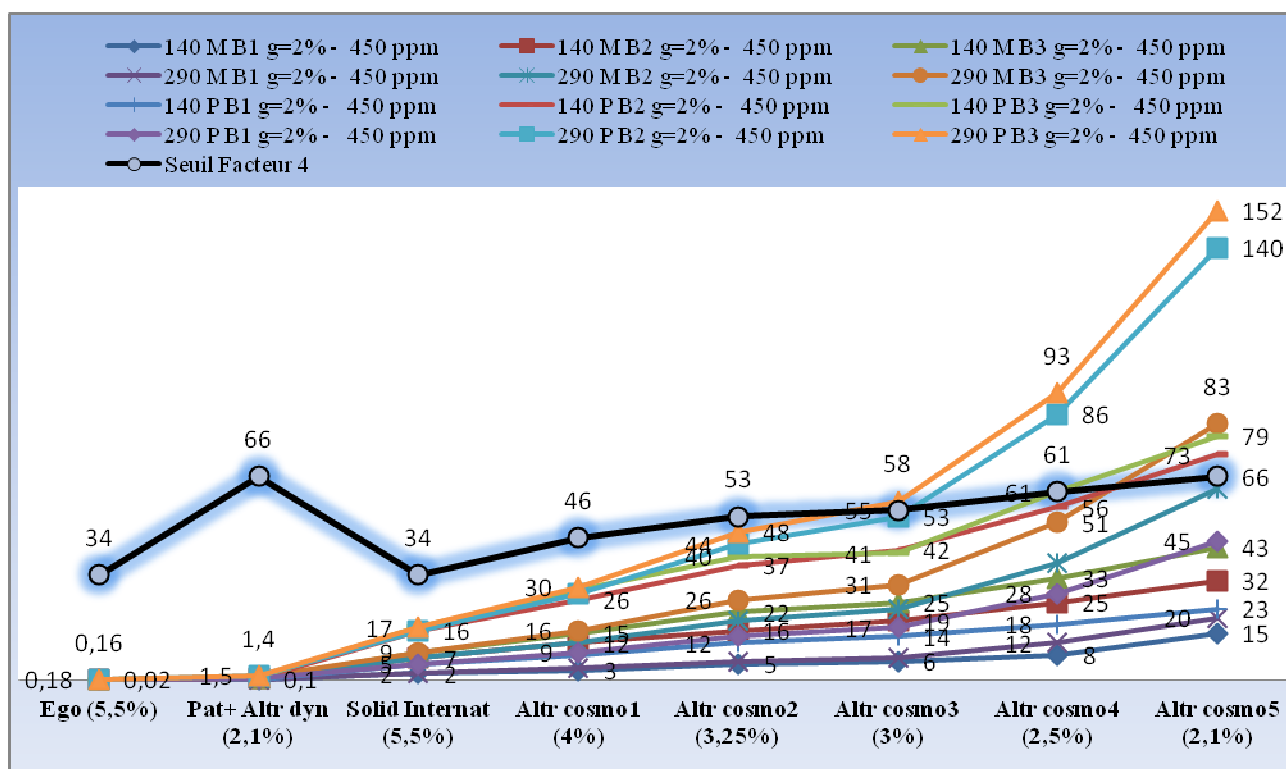
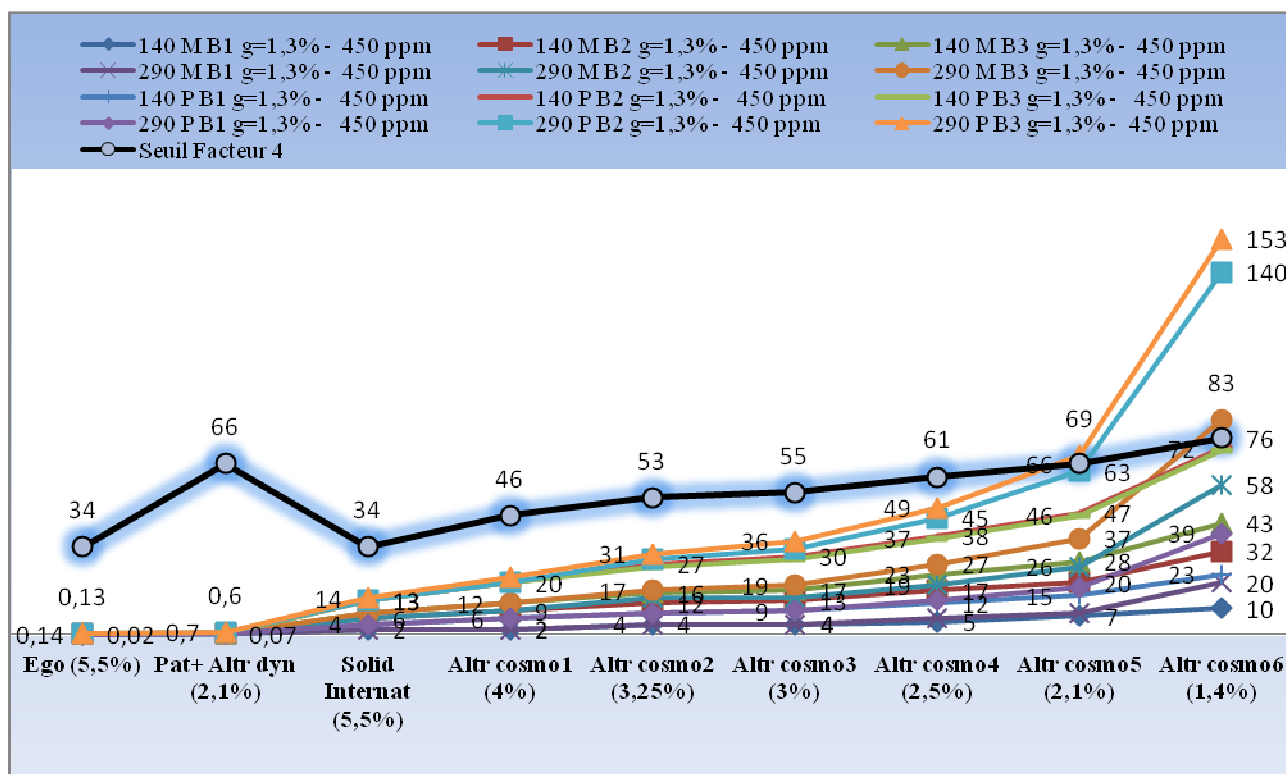


Figure 10 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₄₀₃ et g = 1,3 %


 Figure 11 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₄₅₀ et g = 2 %

 Figure 12 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₄₅₀ et g = 1,3 %

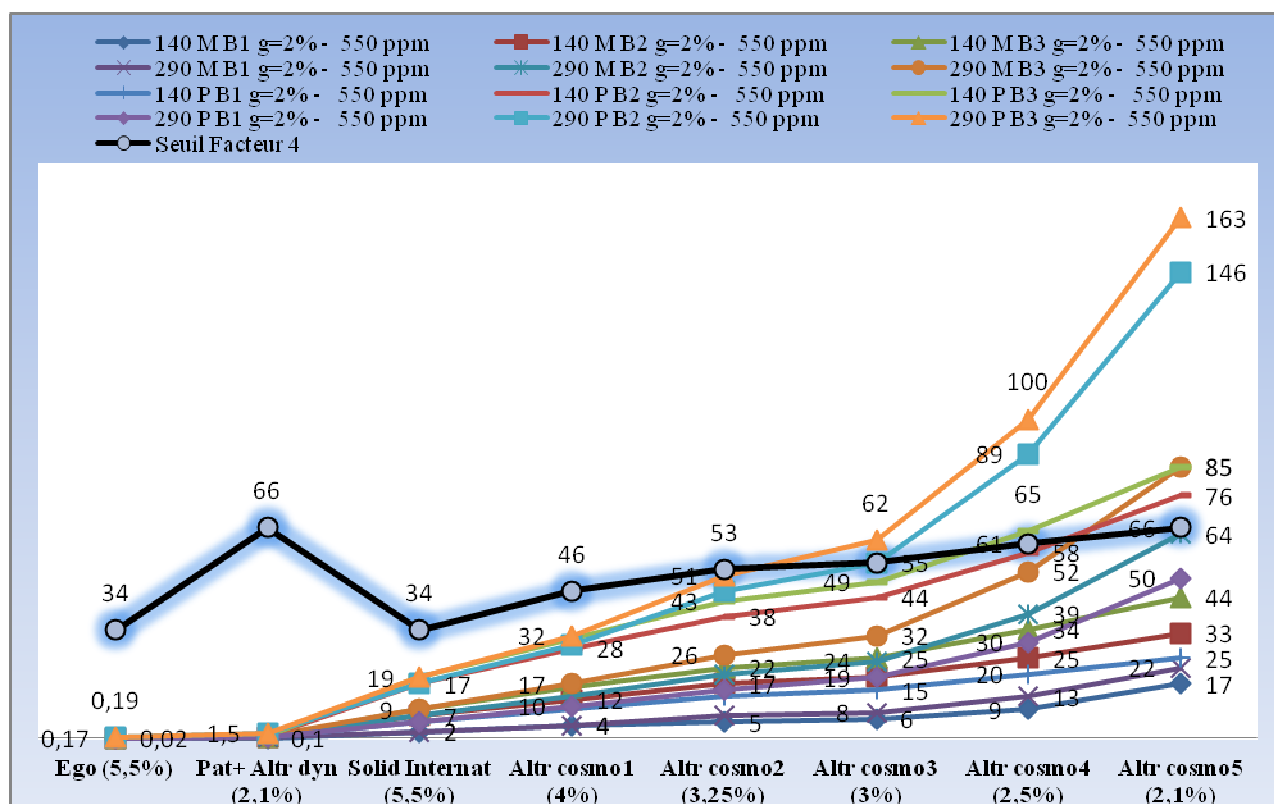


Figure 13 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₅₅₀ et g = 2 %

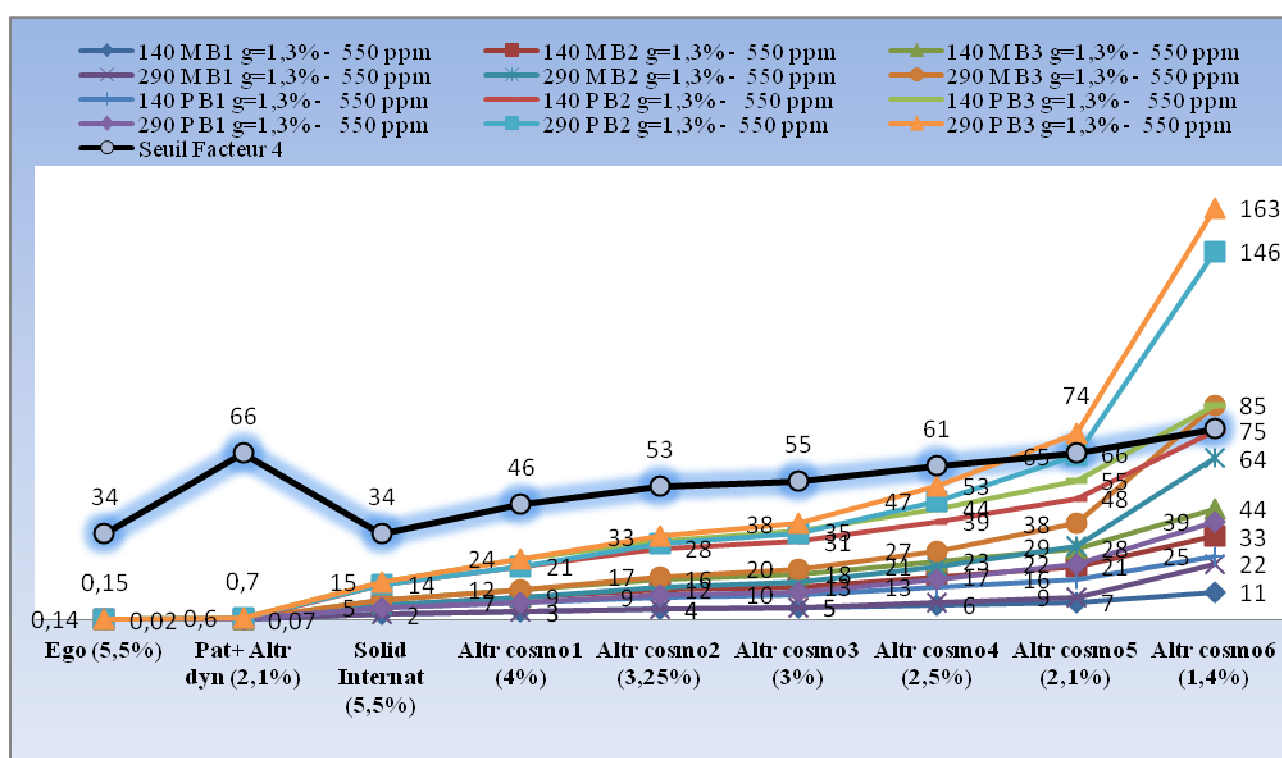


Figure 14 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₅₅₀ et g = 1,3 %

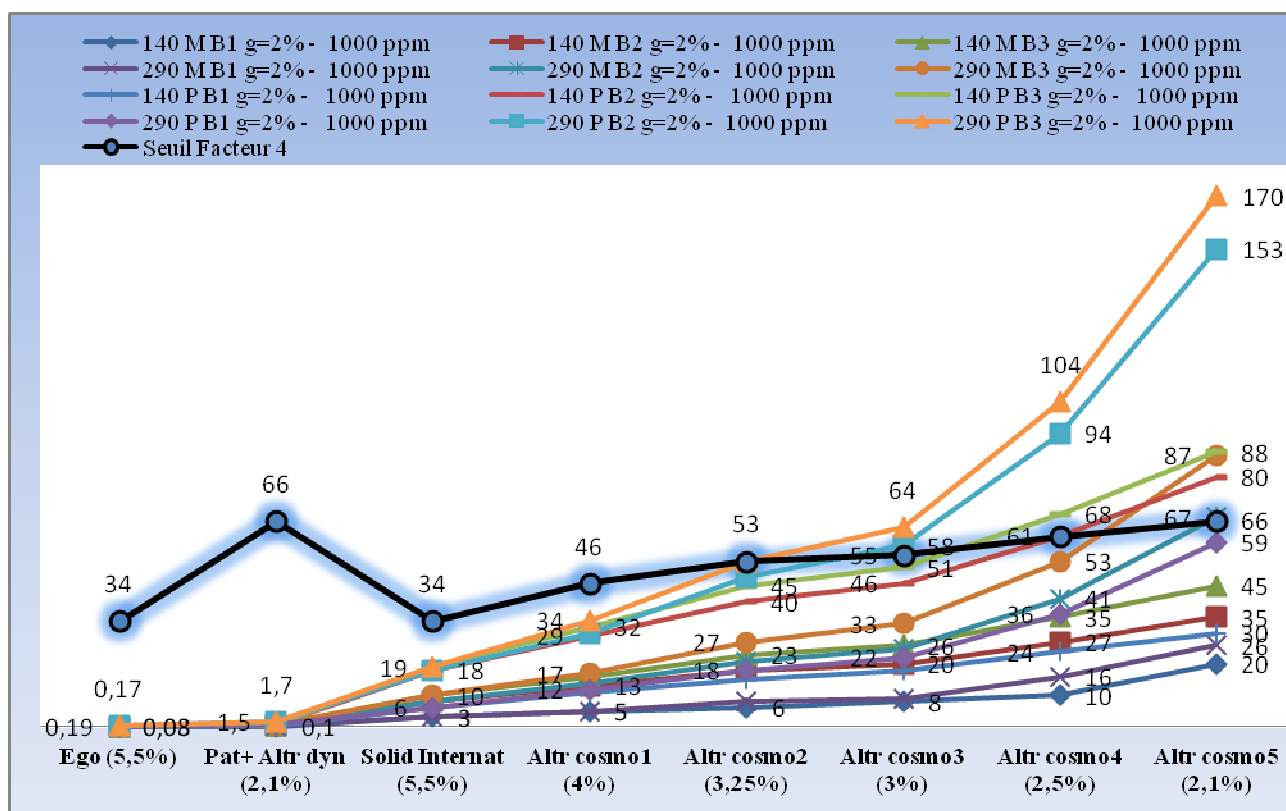


Figure 15 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₁₀₀₀ et g = 2 %

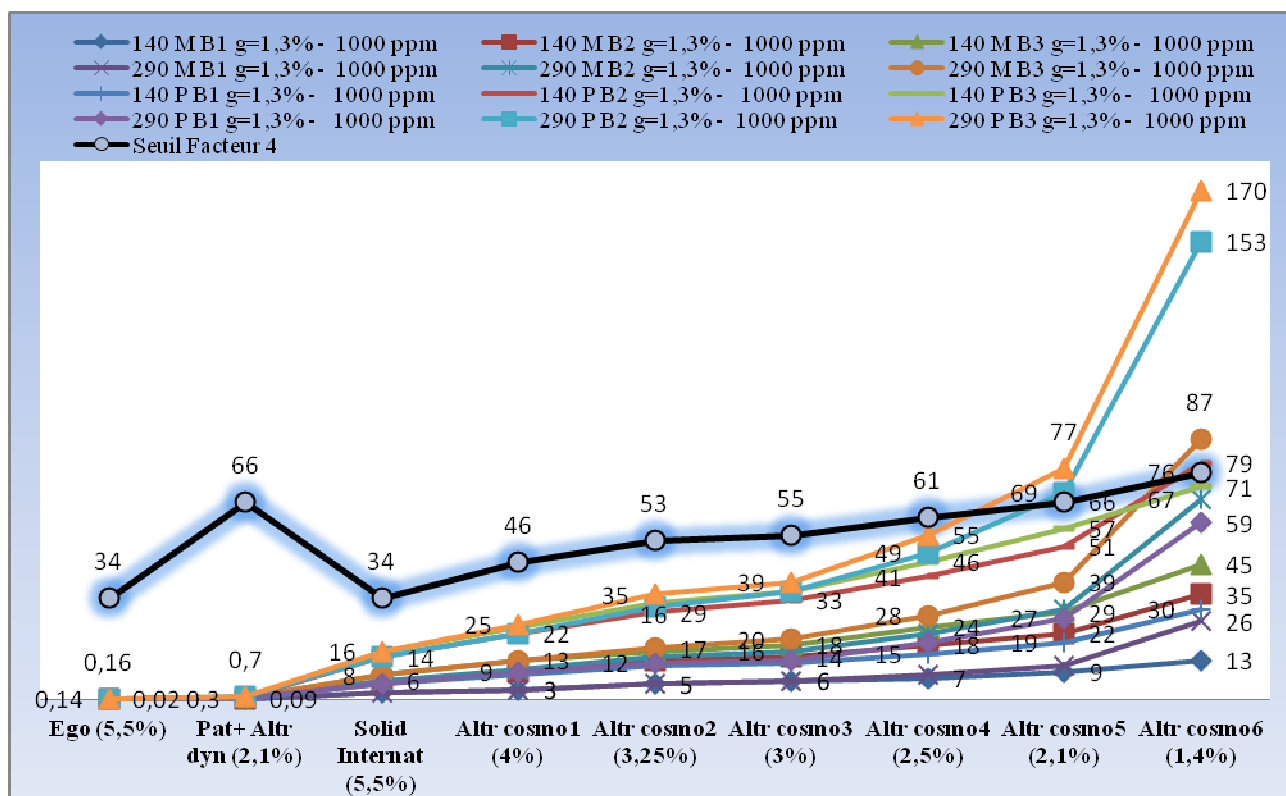


Figure 16 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₁₀₀₀ et g = 1,3 %

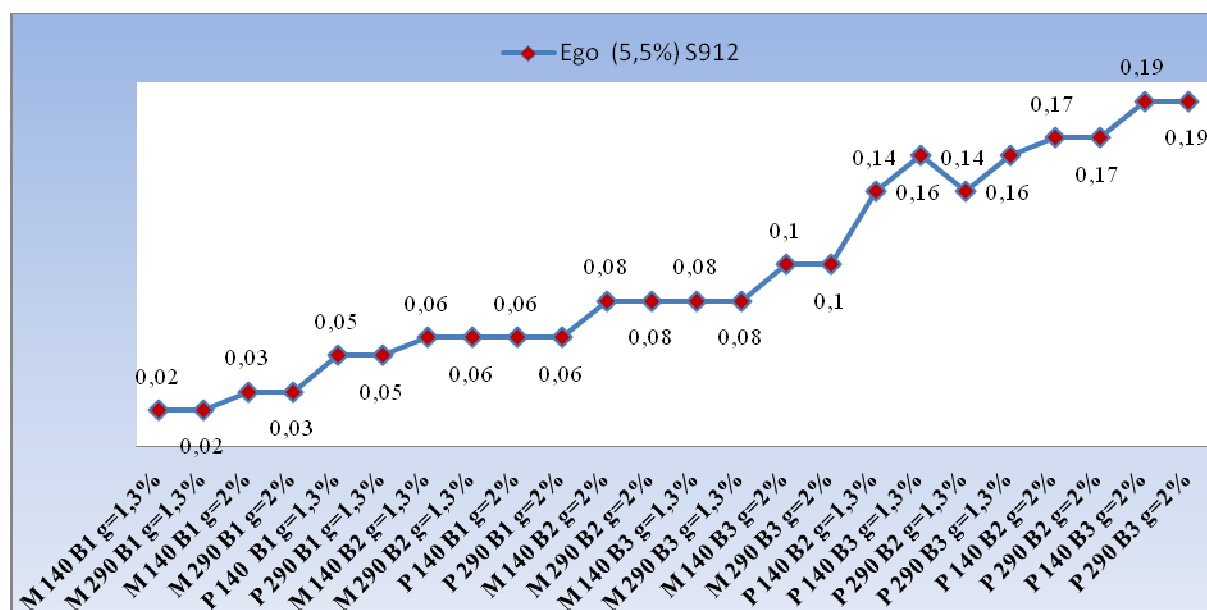


Figure 17 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€ / tCO₂), pour S₉₁₂ et r = 5,5 %

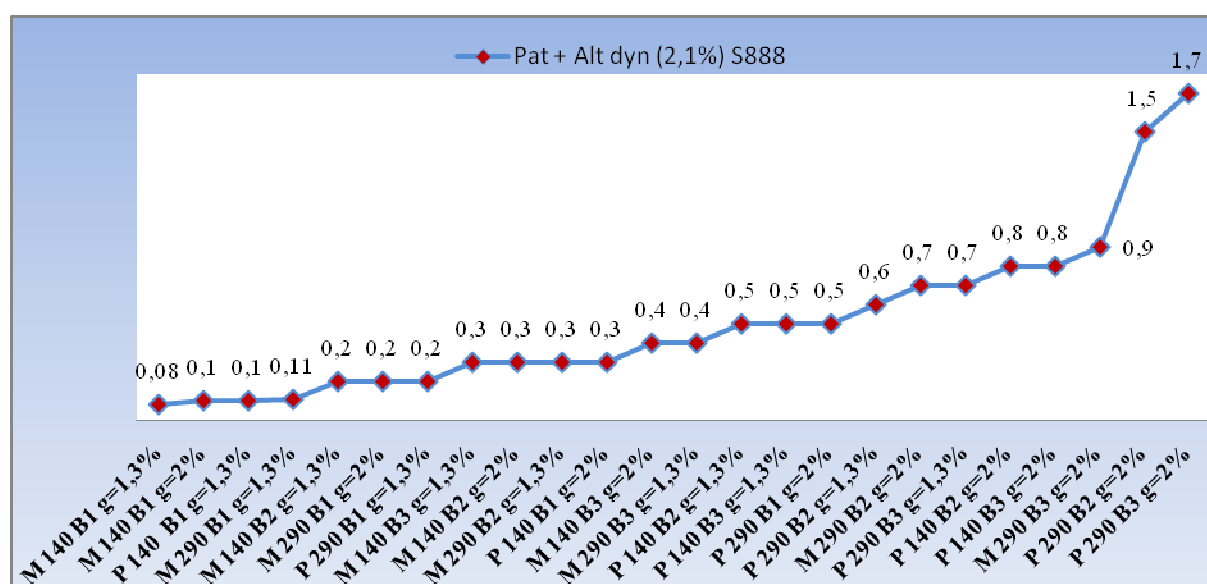


Figure 18 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€ / tCO₂), pour S₈₈₈ et r = 2,1 %

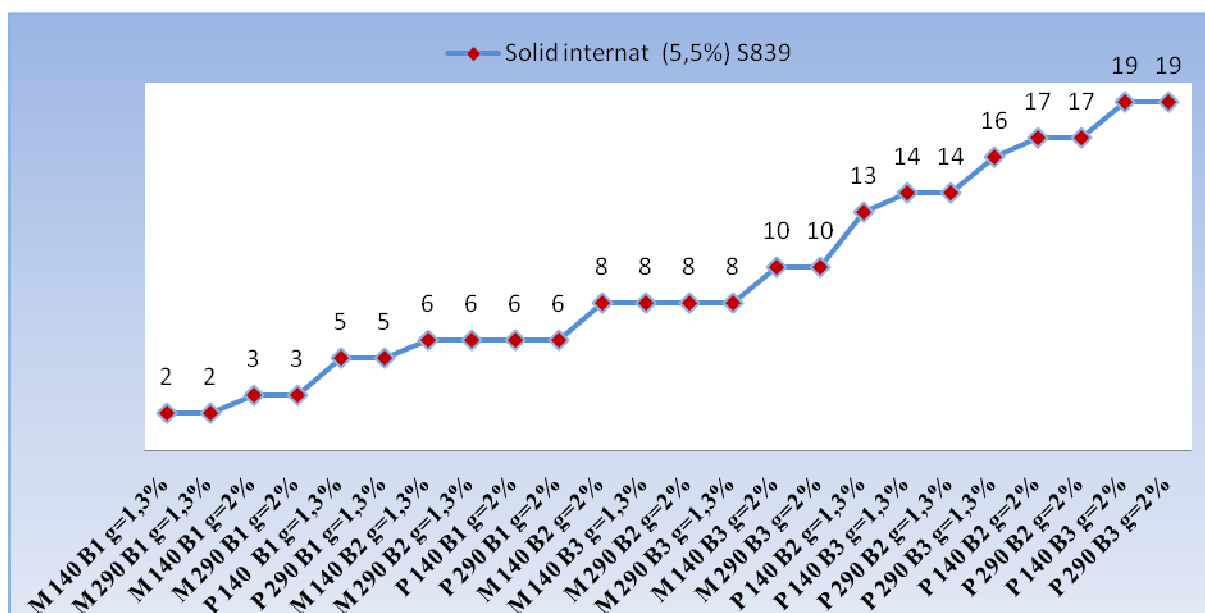


Figure 19 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S^{S839} et r = 5,5 %

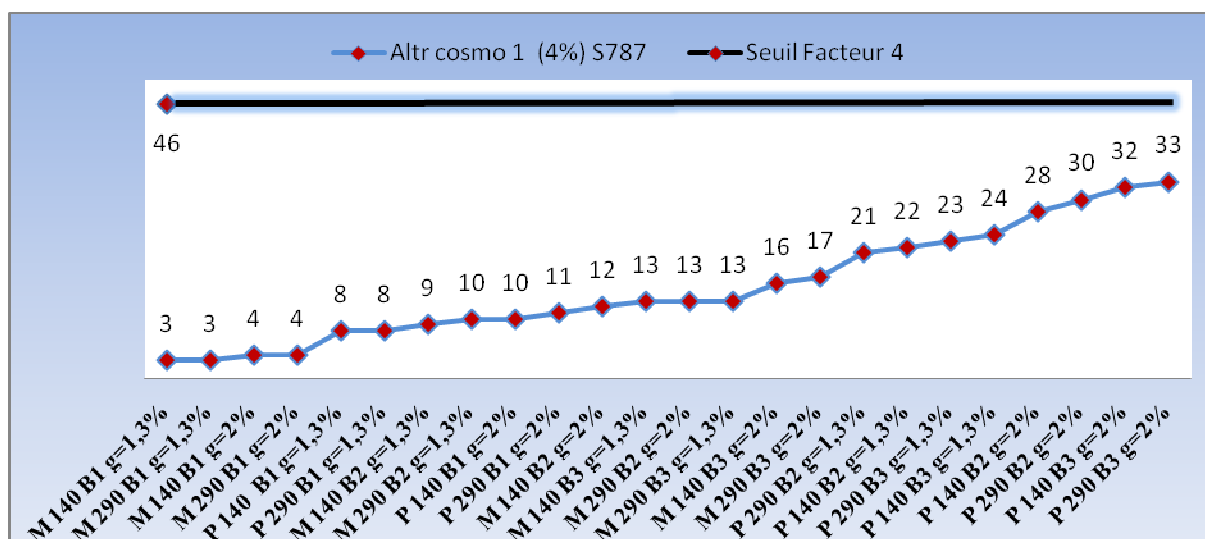


Figure 20 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S^{S787} et r = 4 %

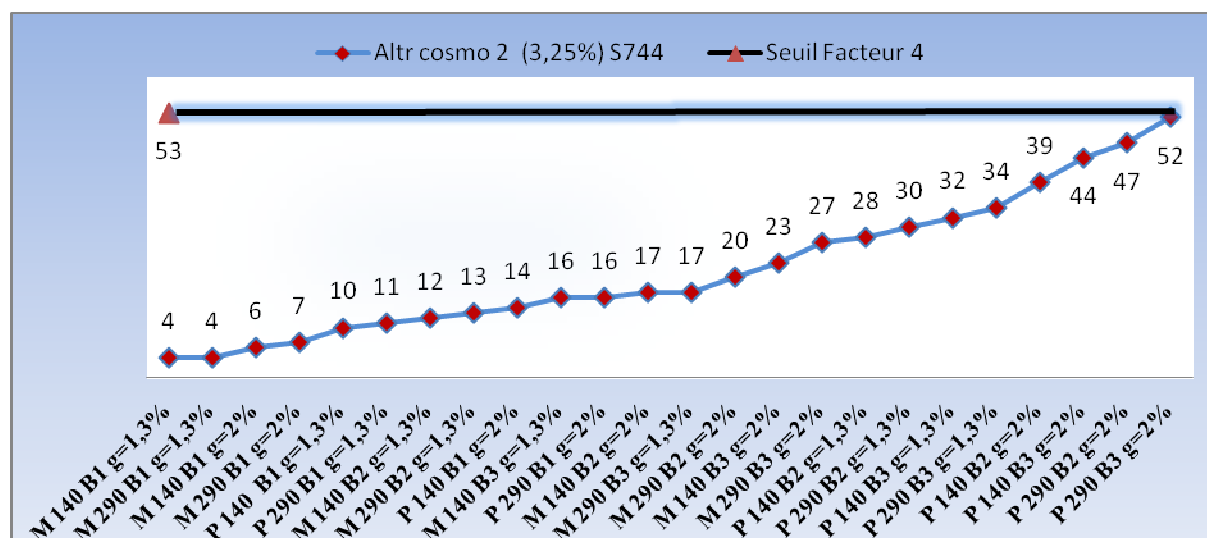


Figure 21 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S^{S744} et r = 3,25 %

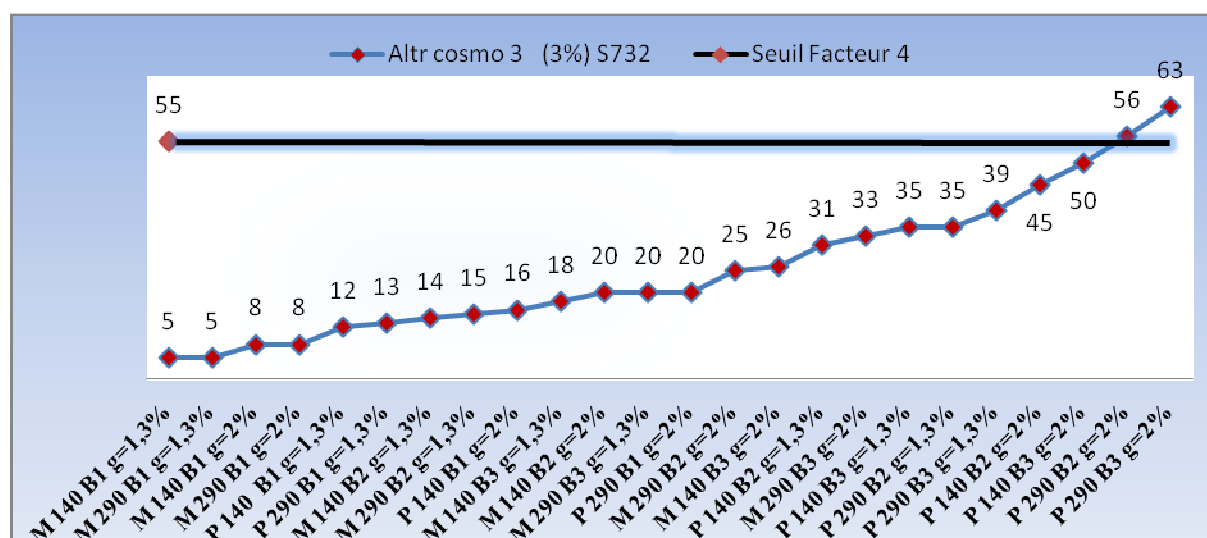


Figure 22 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S^{S732} et r = 3 %

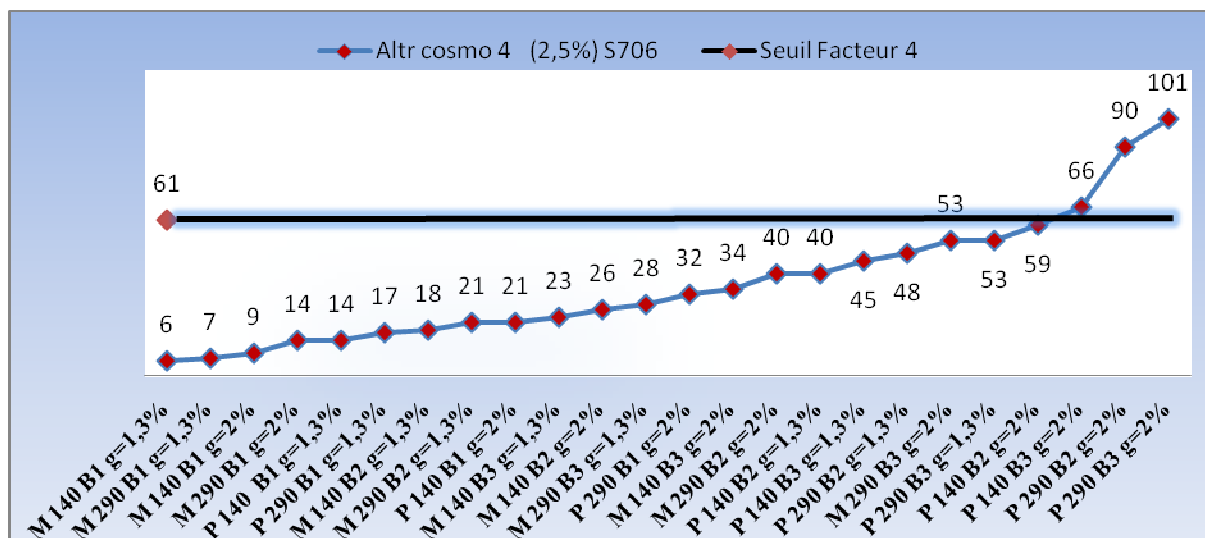


Figure 23 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₇₀₆ et r = 2,5 %

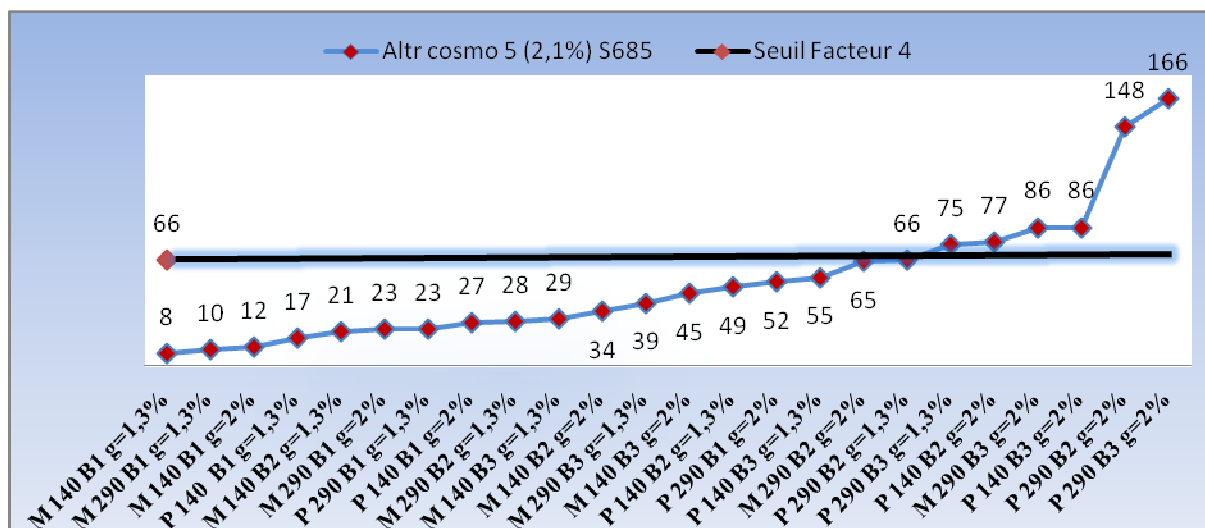


Figure 24 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S₆₈₅ et r = 2,1 %

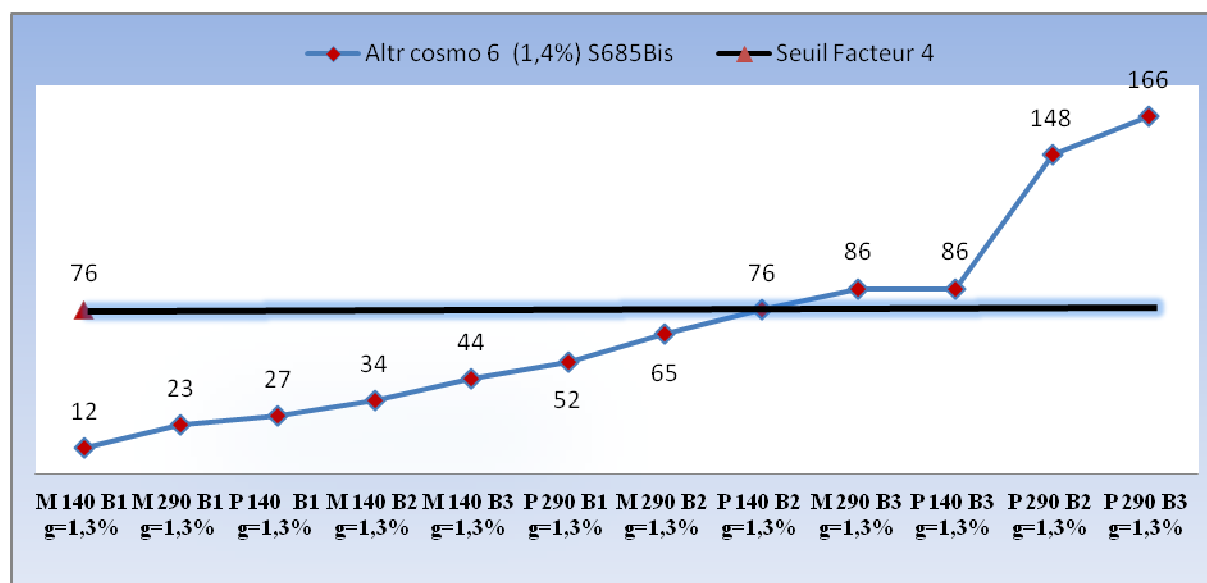


Figure 25 : Valeur actuelle 2010 du dommage (€/ tCO₂), pour S^{S685BIS} et r = 1,4 %

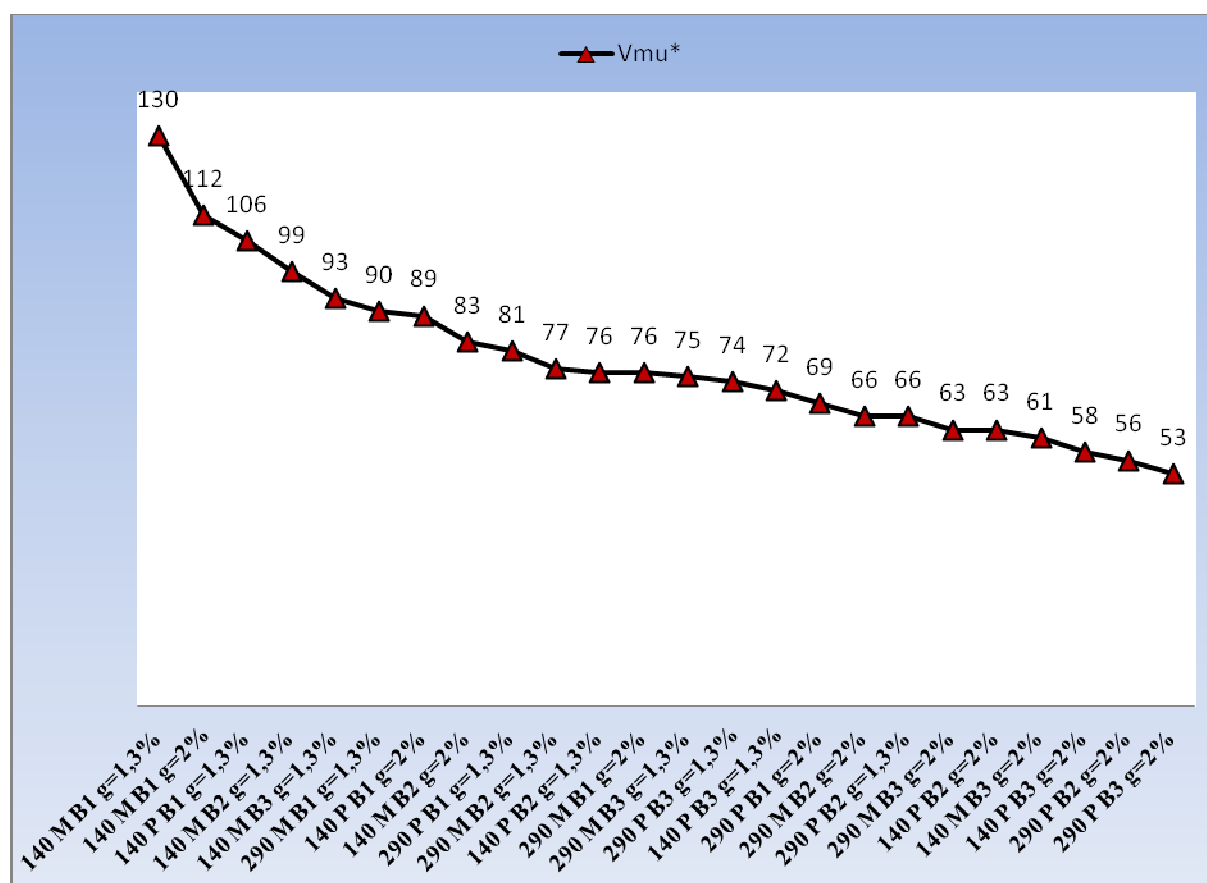


Figure 26 : Valeur actuelle 2010 seuil du dommage (€/ tCO₂), pouvant justifier la cible {S^{KM442}, « Facteur 4 »}

La figure 26 présente les valeurs à atteindre pour justifier le « Facteur 4 » dans les différentes configurations étudiées, que l'on trouve classées en abscisse par valeur décroissante. La valeur la plus basse requise correspond à la configuration disposant des circonstances les plus favorables : un horizon de 290 ans, la valeur la plus élevée de la fonction de réponse climatique (P) et la base d'imputation B3.

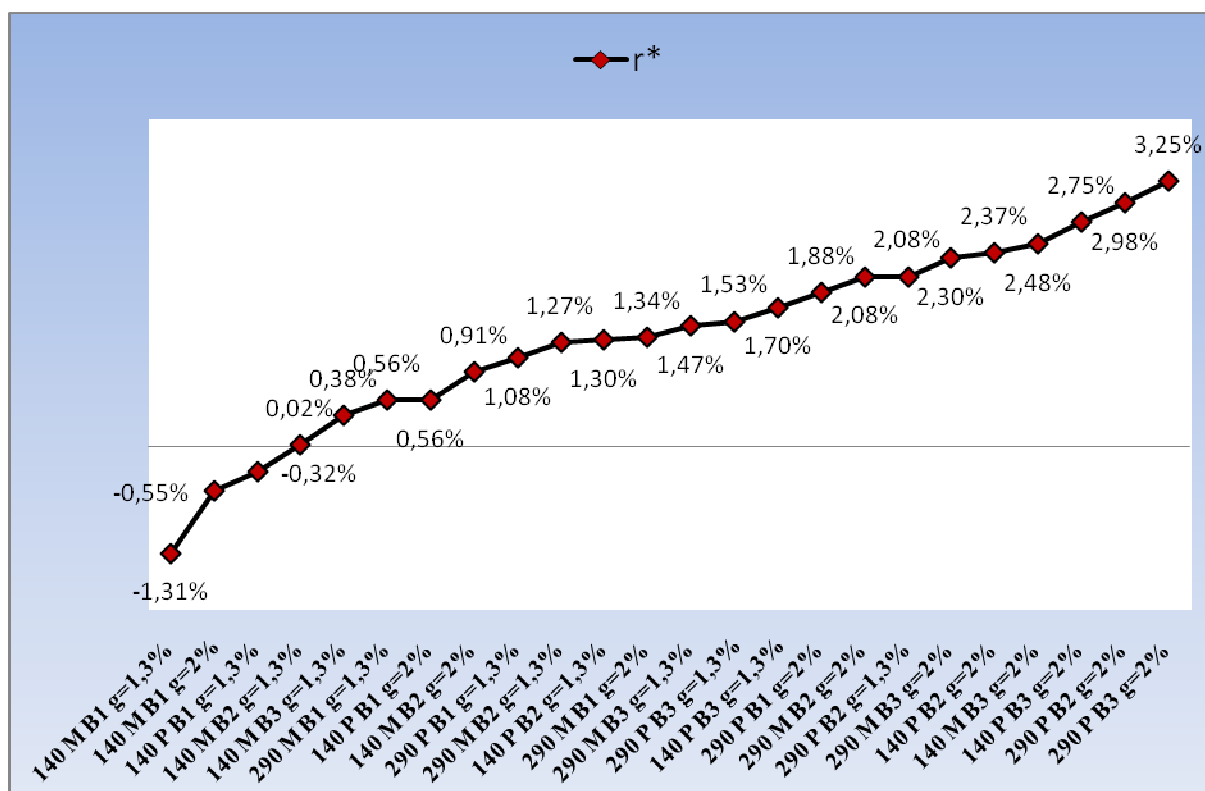


Figure 27 : Taux d'actualisation seuil r^* , pouvant justifier la cible $\{S^{KM}_{442},$ « Facteur 4 »}

La figure 27 présente les valeurs du taux d'actualisation compatibles avec la cible du « Facteur 4 » dans les configurations étudiées, que l'on trouve en abscisse classées par valeur croissante. Le taux le plus bas est négatif (-1,31%) et le plus élevé est le 3,25%.

Chapitre 7

Analyse et commentaires

L'évaluation présentée dans les chapitres précédents permet de faire ressortir nombre de résultats importants. Ceux qui dépendent d'évaluations quantitatives sont néanmoins sensibles aux choix de méthode et de valeurs de paramètres qui ont été faits, et tout particulièrement à deux d'entre eux : le choix de la variante « Nordhaus-population » comme fonction de dommage climatique et le rôle pivot attribué à la valeur de 100 €/ tCO₂ en 2030. Le tableau se modifierait substantiellement quant aux conditions de justification de la cible du « Facteur 4 » si ces repères étaient bouleversés : par exemple si les dommages climatiques étaient d'une ampleur beaucoup plus élevée (+50 % ?) que cette variante « Nordhaus-population », bien que cette dernière compte parmi les plus élevées disponibles, ou si le « Facteur 4 » pouvait être réalisé pour des coûts d'évitement de l'émission de carbone se situant autour de 20 €/ tCO₂ en 2030, ou encore moins, grâce à des révolutions technologiques aujourd'hui dans les limbes. Aucune de ces hypothèses n'est aujourd'hui plausible. Au-delà, pèse également le choix de considérer la politique climatique comme le moyen de faire face au danger climatique, et pas comme une façon indirecte de chercher à atteindre d'autres objectifs ; si la politique climatique devait être le faux-nez pour d'autres visées, les conditions de justification devraient en être reconsidérées sur de nouvelles bases. Au total, le bouleversement des données de référence n'affecterait pas la pertinence des résultats qualitatifs et les valeurs retenues pour les deux repères mentionnés sont suffisamment plausibles pour que les résultats obtenus retiennent l'attention.

7.1. La prééminence des choix normatifs sur les positionnements cognitifs comme source de variation des valeurs

L'impact des choix normatifs sur la valorisation des dommages est absolument considérable. Entre l'évaluation la plus basse (positionnement

d'égoïsme national) et la plus élevée obtenue avec les formes d'altruisme les plus marquées, il existe pour la base d'évaluation B1 un rapport de 1 à 1150 avec une réponse climatique de type M, et de 1 à 1300 avec une réponse de type P. Avec la base B2, l'écart est un peu moindre mais néanmoins de 1 à 928 avec une réponse de type M et de 1 à 1138 pour une réponse de type P. Dans le même temps les positionnements cognitifs (« prédictifs », « thomistes » ou « symétriques ») engendrent des écarts qui n'atteignent que rarement 100 % et se situent majoritairement dans les 20 %. Pour l'avenir il serait infiniment plus décisif pour le choix d'une cible à long terme d'affiner l'analyse des choix normatifs et de les soumettre au débat public que de travailler sur les positionnements cognitifs ou de progresser dans la connaissance fine des dommages climatiques à l'échelle régionale et locale.

Ceci étant, la dépendance des valeurs attribuées aux dommages climatiques envers des positionnements cognitifs et éthiques a pour conséquence logique, c'est à dire plausible et légitime, que différents États donnent une valeur significativement différente au dommage résultant de l'émission d'une tonne de GES. Même au sein de ce que j'ai appelé l'altruisme cosmopolitique, il existe des degrés variables d'intensité qui peuvent mener à des écarts de valeur dans un rapport de 1 à 5, susceptibles de conduire à des politiques climatiques tout à fait différentes. Cette diversité légitime de positionnements ne laisse que trois possibilités pour un régime international de régulation de l'émission de GES :

- a) admettre ces inégalités d'engagement et cette diversité de valeurs, explicites ou implicites, de la tonne de GES au sein même du régime, ce qui exclut des formes d'instruments égalisant les valeurs comme le ferait un marché mondial du carbone ;
- b) parvenir à une convergence cognitivo-éthique entre toutes les Parties à la négociation internationale comme préalable à un accord sur la valorisation économique de la tonne de GES et sur la cible d'émissions à viser pour 2050 ;
- c) distinguer ce que chaque pays est prêt à faire en fonction de ses positionnements cognitivo-éthiques et ce qu'il pourrait accepter de faire de plus « pour compte d'autrui » moyennant des compensations à négocier.

La première option conduit à rechercher une coordination sur des programmes sectoriels et sur la technologie pour aller au-delà de la somme des « engagements volontaires », sans doute bien insuffisants. La seconde n'est guère plausible dans le contexte post-Copenhague. La troisième suppose à la fois que les choix normatifs propres à chaque pays « pour son propre compte » soient rendus publics et débouchent sur la reconnaissance des droits correspondants. Sur ce fond, des négociations pourraient définir ce que chacun est prêt à faire en plus pour compte d'autrui. Toutefois si la première étape de définition des droits de chacun est soumise au jeu de

dupes des déclarations à visée stratégique, chacun recherchant la position la plus favorable (faibles engagements et droits importants) en vue de tirer le meilleur profit de la seconde étape, cette coopération serait engagée de façon structurellement perdante.

7.2. La faiblesse des valeurs dans une majorité de configurations

Les choix normatifs désignés comme « égocentriques » ou relevant d'un « altruisme dynastique » conduisent à une très faible valorisation des dommages climatiques, qui ne dépasse pas 2 €/ tCO₂ (la valeur la plus élevée, 1,7 €, est obtenue dans la configuration 290-P-B3, soit l'association de la base la plus valorisante, B3, de la sensibilité climatique la plus extrême, P, et de l'horizon le plus éloigné (290 ans). Or la théorie réaliste des relations internationales ainsi que les rites politiques institués, comme la cérémonie du serment d'un président nouvellement élu, ont pour présupposé que les responsables gouvernementaux de chaque État agissent pour défendre les intérêts économiques et valeurs politiques (souveraineté et indépendance, fonctionnement institutionnel, modes de vie, etc.) du pays qu'ils représentent et qu'il est légitime qu'ils se comportent ainsi : les chefs d'État les plus respectés pour leur sens élevé des responsabilités sont ceux qui consacrent leur énergie à la défense des intérêts de leur peuple, sans que les règles politiques et les attentes de la majorité des citoyens étendent à l'humanité entière les intérêts et valeurs dont ces responsables ont la charge.

Certes, l'idée d'intérêt commun avec d'autres peuples ne leur est pas étrangère, mais son appréciation pratique demeure soumise au bilan coûts-avantages d'une coopération, avec ce que cette dernière notion charrie de difficultés d'accords sur les priorités et sur les exigences de justice (Rawls, 1996 ; Godard, 2011b, 2012) et de risques de défection. Quant au sens de la solidarité et aux devoirs d'assistance humanitaire, ils se manifestent envers les populations des autres pays à travers les programmes de coopération pour le développement et lors des situations de catastrophes aigües - naturelles, industrielles ou militaires -, sans jamais aller jusqu'à accorder à ces autres populations le même traitement que celui réservé aux populations du territoire national.

En considérant le faible niveau d'influence directe de la plupart des États sur le problème climatique, chacun d'eux est alors largement incité à s'installer vis-à-vis du comportement des autres dans un positionnement prédictif, comme il le ferait avec des phénomènes de la nature. Il est clair que pour une valeur inférieure à 2 €/ tCO₂ prévalant dans le positionnement « d'altruisme dynastique », il n'existe aucune base économique pour un engagement sur une cible de type « Facteur 4 » en 2050 : il s'en faut au moins d'un facteur 25. Cette cible ne peut s'envisager

sans adopter une forme d'altruisme allant au-delà de ce que les États westphaliens considéraient légitimes et suffisants de faire jusqu'à présent.

7.3. Le scepticisme du positionnement « thomiste »

Le positionnement « thomiste » situe le budget d'émissions du pays en jeu sur la période 2011-2050 par rapport au niveau des concentrations mondiales de GES atteint en 2010. Il ne conduit à justifier le « Facteur 4 » que dans 10 cas sur les 204 considérés : seule une attitude d'altruisme cosmopolitique comportant un taux d'actualisation inférieur ou égal à 2,5 % et le choix d'une base B2 ou B3 peuvent le valider. Il faut donc se placer dans une combinaison d'hypothèses très exigeantes sur le plan normatif pour justifier le « Facteur 4 » dans ce cadre, d'une manière assez décalée par rapport aux motivations plausibles d'une attitude « thomiste ».

7.4. Un universalisme « kanto-millien » aux exigences en rupture avec les politiques en vigueur

Le scénario S^{KM}_{442} est considéré dans ce texte comme l'expression adéquate de l'universalisme « kanto-millien » ; il est formé à partir des repères donnés par les principaux accords internationaux formulés par la communauté internationale depuis 1992 à propos du problème climatique et en particulier de la référence à la limite des 2°C d'accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère. La démarche d'évaluation détermine ici le niveau de valeur des dommages climatiques imputables au pays Y et celui du taux d'actualisation qui auraient conduit à faire de ce scénario le choix universel recommandé par une approche coûts-avantages. Les contraintes ainsi prises en compte sont la cible du « Facteur 4 » et l'étape obligée d'une valeur de 100 €/ tCO₂ en 2030. Cette approche révèle qu'il faudrait pour y parvenir des valeurs actuelles élevées du dommage unitaire par tonne de CO_{2e} et basses, voire négatives dans certains cas, pour le taux d'actualisation. C'est que montrent les figures 26 et 27 : la valeur actuelle du CO_{2e} en 2010, vue à travers l'évaluation menée par le pays Y, s'étage, selon les configurations étudiées, de 53 € (configuration « 290-P-B3-{g = 2 %} ») à 130 € (configuration « 140-M-B1-{g = 1,3 %} »), tandis que le taux d'actualisation connaît sa valeur la plus élevée à 3,25 % (configuration « 290-P-B3-{g = 2 %} ») et sa valeur la plus faible, car négative à -1,31 % (configuration « 140-M-B1-{g = 1,3 %} »).

Ces résultats reflètent l'existence d'un jeu entre niveau des dommages et actualisation : plus les hypothèses sous-jacentes conduisent à un niveau élevé de dommages annuels non actualisés (configurations 290-P-B3), moins il est nécessaire que le taux d'actualisation prenne une valeur basse pour justifier un scénario S^{KM}_{442} . À l'inverse lorsque la valorisation de base est plus faible, il faut un taux d'actualisation bas, voire négatif, pour

aboutir de façon cohérente à une valorisation compatible avec les 100 € / tCO₂ en 2030.

En tout état de cause, les 53 € minima représentent une valeur de départ en 2010 supérieure d'un ordre de grandeur au niveau de prix du quota de CO₂ sur l'ETS en 2013 et trois fois plus que le niveau initial de la contribution carbone qui avait été projetée en France par le gouvernement Fillon en 2009.

7.5. Une base B1 conduisant à des valeurs en retrait sur celles de B2 et de B3

Sans surprise les valeurs résultant de la base B1 remplaçant les émissions du pays Y dans le stock total de CO₂, quelle que soit son origine anthropique ou naturelle, sont systématiquement inférieures à celles de la base B2 qui s'en tient aux seules émissions faites depuis le début de l'ère industrielle et à celles de la base B3 qui ne prend en compte que les émissions additionnelles d'origine anthropique à venir dans la période 2011-2050. Cet écart est significatif, mais pas exorbitant, puisqu'il va de 1 à environ 3 au maximum.

Or l'approche « objective » que consacre la base B1 peut être jugée plus appropriée que les deux autres bases au contexte dans lequel un État surtout soucieux de ses propres intérêts, sans être totalement indifférent au reste du monde, doit déterminer lui-même de façon unilatérale sa stratégie climatique en dehors d'une coopération étroite faite d'engagements réciproques avec les autres pays, contexte qui est celui qui s'est imposé depuis la conférence de Copenhague de 2009 (Godard, 2011b). Avec cette base B1 il n'existe aucune configuration, en dehors de l'universalisme « kanto-millien », qui soit susceptible de soutenir la cible du « Facteur 4 » !

Si cet État entend au contraire faire preuve d'un altruisme cosmopolitique, sa démarche cognitive devrait être empreinte d'un souci d'équité distributive qui le conduira à retenir la base B3 qui ouvre davantage de possibilités pour justifier la cible du « Facteur 4 » : c'est le cas des configurations « 240-M-{g = 2 %}-{r = 2,1 %} » ; « 140-P-{g = 2 %}-{r ≤ 3,25 %} » ; « 290-P-{g = 2 %}-{r ≤ 3,25 %} » ; « 290-M-{g = 1,3 %}-{r = 1,4 %} » ; « 140-P-{g = 1,3 %}-{r ≤ 2,1 %} » ; « 290-P-{g = 1,3 %}-{r ≤ 2,5 %} ». Ces dernières mettent en exergue les cas où les dommages mondiaux seraient à la fois les plus élevés objectivement et les plus valorisés parmi les combinaisons cognitivo-normatives disponibles.

Bien que cela soit un facteur de renforcement de la justification de la cible du « Facteur 4 », il n'est pas nécessaire pour justifier cette cible de supposer que la sensibilité climatique soit à son niveau le plus haut. Il existe en effet plusieurs configurations de soutien à cette cible dans l'hypothèse d'une réponse de type médian (M) ; cependant le taux

d'actualisation doit alors être au plus bas pour y parvenir. Ce constat ouvre une piste intéressante quant au dosage entre empreinte d'une logique du pire et empreinte d'un altruisme cosmopolitique : plus l'altruisme intergénérationnel est fort, moins il est nécessaire d'adopter les hypothèses les plus extrêmes quant au dommage climatique ; réciproquement, moins l'altruisme intergénérationnel est développé, plus il faut recourir aux pires hypothèses pour pouvoir soutenir la cible du « Facteur 4 ». Concrètement, avec une réponse climatique de type médian, le taux d'actualisation ne doit pas être supérieur de 0,1 % au taux de croissance économique par tête considéré, soit un taux d'actualisation de 2,1 % pour une croissance de 2 % et 1,4 % pour une croissance de 1,3 % par tête. Cela ne se présente que dans 4 configurations : « 290-B2-{g = 2 %}-{r = 2,1 %} », « 290-B3-{g = 2 %}-{r = 2,1 %} », « 290-B2-{g = 1,3 %}-{r = 1,4 %} » ; « 290-B3-{g = 1,3 %}-{r = 1,4 %} ». Avec une réponse climatique extrême, l'écart au taux de croissance peut aller jusqu'à 1,25 %, donnant un taux de 3,25 % pour une croissance de 2 % et 2,5 % pour une croissance de 1,3 %.

7.6. Une faible différenciation des valeurs résultant des trois scénarios mondiaux de référence pour le positionnement « prédictif »

Contrairement à ce qui était escompté, la distinction de trois scénarios mondiaux très contrastés de concentration de GES (S_{450} , S_{550} , S_{1000}) fait peu varier la valeur des dommages imputables aux émissions du pays Y : dans un rapport d'environ 30 % pour B1, de 10 % pour B2 et entre 5 et 15 % pour B3. Ces faibles différences réduisent considérablement l'importance à donner à l'incertitude sur le comportement collectif de l'humanité lorsqu'il s'agit pour le pays Y de déterminer en 2010 sa stratégie climatique d'ici 2050. La principale explication est que le contraste à long terme des scénarios ne se retrouve pas dans la même mesure, loin s'en faut, dans les bilans d'émissions cumulées de chaque scénario sur la période 2011-2050. Avec S_{450} la quasi-totalité du budget d'émissions est consommé sur cette période alors que pour S_{1000} le ratio n'est que de 23 % : le gros des émissions de ce dernier scénario sera le fait des décennies postérieures à 2050. C'est ainsi que les concentrations de GES atteintes en 2050 dans les trois scénarios s'élèvent respectivement à 446 ppm, 470 ppm, et 530 ppm.

On doit aussi compter avec le jeu de variables qui ont des effets en sens contraire. Ainsi, plus un scénario mondial se traduit par un niveau bas de concentrations de GES, moins la valeur des dommages climatiques est élevée ; dans le même temps un même niveau d'émissions totales du pays Y implique l'imputation à ce pays d'une part plus élevée du dommage total. À l'inverse, pour un scénario mondial d'émissions élevées, le dommage devient plus important, mais les émissions du pays Y ne sont comptables que d'une part plus petite.

7.7. L'incidence notable mais demeurant modérée de l'horizon de l'évaluation

Conduire l'évaluation sur 290 ans ou sur 140 ans n'a pas du tout d'incidence sur l'évaluation des dommages pour les taux d'actualisation les plus élevés testés (5,5 % et 4 %). Une différence dans un rapport de 1 à 2 s'observe pour les valeurs les plus basses (respectivement 2,1 % et 1,4 % pour une croissance par tête de 2 % et 1,3 %), ce qui n'est pas considérable mais suffit dans plusieurs configurations à faire franchir le seuil de justification du « Facteur 4 ». Au-delà de ce constat classique, ce qui importe est moins la valeur absolue du taux d'actualisation que l'écart entre ce dernier et le taux de croissance : un même écart donne des niveaux d'évaluation similaires.

Si un horizon de 140 ans paraît le mieux fondé du point de vue d'une éthique rigoureuse de l'utilisation du concept de dommages en contexte intergénérationnel (cf. la discussion menée au chapitre 5), il ne débouche sur une validation du « Facteur 4 » par le pays Y que dans des configurations qui excluent la base B1 et la valeur médiane de la sensibilité climatique. Ces résultats confirment l'existence d'un jeu de contraintes combinant positionnements cognitifs et choix normatifs qui pèsent ensuite comme des pré-conditions logiques pour toutes les questions relevant de la mise en œuvre d'une stratégie de « Facteur 4 ».

7.8. Le soutien insuffisant de l'exigence d'une solidarité internationale dirigée vers les seuls contemporains

Le choix d'un niveau élevé de solidarité conduisant le pays Y à considérer l'impact de ses décisions sur l'humanité contemporaine tout entière et pas seulement sur la population qui réside sur son territoire et qu'il représente fait certes franchir un ordre de grandeur à la valeur des dommages par rapport à « l'altruisme dynastique ». Il demeure toutefois insuffisant dans toutes les configurations examinées pour soutenir l'objectif du « Facteur 4 », quelle que soit la base (B1, B2, B3), l'horizon (290 ou 140 ans) ou la réponse climatique (M ou P). On peut voir dans ce résultat très important l'une des manifestations de l'extrême tension existant entre deux priorités : la priorité à la sécurité climatique et la priorité au développement économique et à lutte contre la pauvreté. Elle sous-tend la négociation sur le climat depuis ses débuts à la fin des années 1980 : les deux priorités ne s'équivalent pas du tout et, sans nul doute, peinent considérablement à trouver les moyens de converger.

7.9. Un taux d'actualisation qui doit être bas pour donner corps à une solidarité intergénérationnelle forte

L'altruisme cosmopolitique associant solidarité intragénérationnelle et solidarité intergénérationnelle doit atteindre un niveau élevé de solidarité intergénérationnelle pour pouvoir soutenir l'objectif du « Facteur 4 » : en aucun cas un taux d'actualisation de 4 % n'y parvient. Un taux de 3,25 % ne le fait que dans une seule configuration (290-P-B3-{ $g = 2\%$ }). Ce résultat est important dans le contexte français. En effet la proposition du rapport Quinet (2009) sur la valeur tutélaire du carbone d'introduire une contribution carbone à un taux initial de 32 € correspondait en fait à un taux d'actualisation de 5,5 % appliqué à la valeur critique de 100 € en 2030. De même le rapport Lebègue (2005) préconisait un taux d'actualisation de 4 % pour les choix publics pour les premières décennies. De tels choix concernant l'arbitrage intertemporel que représente le taux d'actualisation se révèlent contradictoires avec les conditions de justification de l'objectif du « Facteur 4 », pourtant pris par la Commission Quinet comme objectif de référence valide au nom de la lutte contre l'effet de serre.

La reconnaissance à part entière de l'objectif du « Facteur 4 » emporte avec elle, comme condition logique, le choix d'un taux d'actualisation ne dépassant pas les 3,25 % et plutôt limité à 2,5 % pour la majorité des configurations. Si elle en avait pris conscience, une fois admise la valeur pivot des 100 € en 2030, la Commission Quinet n'aurait pas eu d'autre choix éthiquement et logiquement cohérent que de proposer une valeur tutélaire du CO₂ égale ou supérieure à 53 €, ou d'expliquer que l'objectif du « Facteur 4 » pour la France n'était pas justifié par l'évaluation économique des dommages climatiques mondiaux ou qu'il devait se justifier principalement par des considérations étrangères au problème climatique.

7.10. Une dualité de cadrages normatifs susceptibles de soutenir une stratégie de « Facteur 4 »

Au total les cadrages normatifs pouvant justifier la cible du « Facteur 4 » en 2050 sont au nombre de deux : « l'altruisme cosmopolitique intra et intergénérationnel », s'il est d'un niveau assez élevé, cette contrainte variant selon les configurations, et « l'universalisme kanto-millien ». Cette dualité fait de la cible du « Facteur 4 » un objet possible de compromis entre ceux qui adhèrent à l'un ou l'autre de ces cadrages. Toutefois, se déterminant différemment, ces cadrages ne se confondent pas dans leurs résultats. D'un côté les configurations étudiées combinant altruisme cosmopolitique et symétrie de comportement des États débouchent sur des niveaux de concentration de GES à long terme (685 à 787 ppm) supérieurs au niveau compatible avec la limite des 2°C ; dans ces cas la valeur obtenue pour le dommage climatique par tonne de GES témoigne indirectement de l'insuffisance du niveau d'altruisme constitutif de ces scénarios pour

atteindre le but de la Convention-climat. De l'autre côté lorsque le pays Y adopte un positionnement cognitif de type « prédictif » ou « thomiste », les deux cadrages normatifs (altruisme cosmopolitique ou universalisme kanto-millien) s'opposent radicalement sur la définition de la meilleure trajectoire à suivre pour mener au « Facteur 4 », comme le détaille le chapitre 8.

Chapitre 8

Deux trajectoires opposées pour atteindre le « Facteur 4 » en 2050

Seuls deux types de positionnement éthique, « l'altruisme cosmopolitique » et « l'universalisme kanto-millien » sont en mesure de justifier la cible du « Facteur 4 en 2050 ». Le premier y parvient, dans certaines conditions, par une évaluation des dommages encourus. Le second le fait par construction en combinant d'une attitude de volonté de transmission intergénérationnelle de conditions climatiques similaires à celles qui ont vu l'éclosion de la civilisation humaine et d'une certaine approche de l'équité internationale, qui s'incarne dans le principe de « responsabilités communes mais différenciées » au regard de l'évolution du climat de notre planète. Il y a là un point de départ contraignant au moment de choisir une trajectoire de maîtrise des émissions qui mène à cette cible. Toutefois, unis dans leur soutien à l'objectif, les deux positionnements ne le sont plus lorsqu'il s'agit de répartir l'effort sur la période quadriennale 2011-2050.

Sous contrainte d'un budget déterminé d'émissions cumulées, l'altruisme cosmopolitique associé au positionnement « prédictif » conduit, afin de minimiser le dommage climatique occasionné, à concentrer en début de période le maximum d'émissions, puis à procéder à des réductions drastiques en seconde moitié de période. En revanche l'universalisme « kanto-millien », par construction très sensible à l'incidence des trajectoires d'émissions mondiales sur le niveau des dommages climatiques engendrés, conduit à répartir les émissions de façon à minimiser la valeur actuelle du dommage qui résulterait du choix d'une trajectoire donnée comme norme universelle ; les repères pertinents sont alors les valeurs respectives de la tonne de CO₂ et du taux d'actualisation : une valeur actuelle du CO₂ égale ou supérieure à 53 € et un taux d'actualisation égal ou inférieur à 3,25 %. Telle est la situation paradoxale : des références éthiques proches, qu'un examen rapide pourrait conduire à assimiler l'une à l'autre, débouchent sur des recommandations opposées quant au choix de la trajectoire de maîtrise des émissions de GES.

8.1. Le paradoxe de l'altruisme prédictif : maximiser les émissions précoces

Les formes d'altruisme cosmopolitique compatibles avec le Facteur 4 se caractérisent par une approche de type « prédictif » du comportement des autres pays puisque aucun des scénarios construits sur l'hypothèse de symétrie des comportements ne débouche sur la validation du scénario S₄₄₂. Ce positionnement de type « prédictif » implique de traiter les émissions du pays Y comme un ajout à un stock mondial atmosphérique de GES considéré comme « donné » car « prévu ». Dès lors la meilleure manière pour le pays de minimiser le dommage climatique que ses émissions contribuent à engendrer est de concentrer au maximum ses émissions au début de la période 2011-2050, à un moment où le dommage additionnel induit sera le plus faible compte tenu du niveau de concentration atmosphérique des GES au moment de l'émission, en toute hypothèse moins élevé que ce qu'il deviendra dix, trente ou quarante ans plus tard.

L'écart de valeur entre le niveau de concentration de GES atteint en 2010 (403 ppm) et les niveaux associés aux scénarios S_j en 2050 indique les gains maximaux qu'une telle stratégie pourrait procurer par abaissement des dommages induits : une division par un peu moins de deux du dommage climatique induit par tonne de GES émise serait obtenue si le pays Y pouvait émettre dès 2011 la totalité de son budget d'émissions disponible pour 2011-2050, tout en se tenant à un « zéro-émissions » pour la suite. Sans aller jusqu'à cette extrémité infaisable, une stratégie de concentration des émissions en début de période conduirait à une trajectoire très heurtée d'utilisation du budget disponible, alternant une phase où les émissions demeureraient fortes ou en tout cas ne diminueraient pas, et une phase à partir de 2030 environ, où ces émissions devraient être drastiquement réduites. Explorons davantage cette hypothèse avec un exemple dans le cas français.

Supposons que la France décide de ne pas réduire ses émissions annuelles de CO₂ jusqu'en 2032, en les laissant filer sur un trend qui conduirait au scénario BAU en 2050 (50 % d'augmentation par rapport à 1990) si ce trend se maintenait au-delà de 2032. Puis, à partir de 2033 la France cesserait complètement d'émettre jusqu'en 2050 (voir la figure 28). Avec cette stratégie le budget admissible de CO₂ dans le cadre d'une stratégie « Facteur 4 » serait bien respecté en 2050 ainsi que, naturellement, la contrainte propre du « Facteur 4 » en 2050. Environ 2,7 GtCO₂ d'émissions seraient transférées de la seconde période sur la première soit un peu moins du tiers du budget total de 8,77 GtCO₂ admissible d'ici 2050.

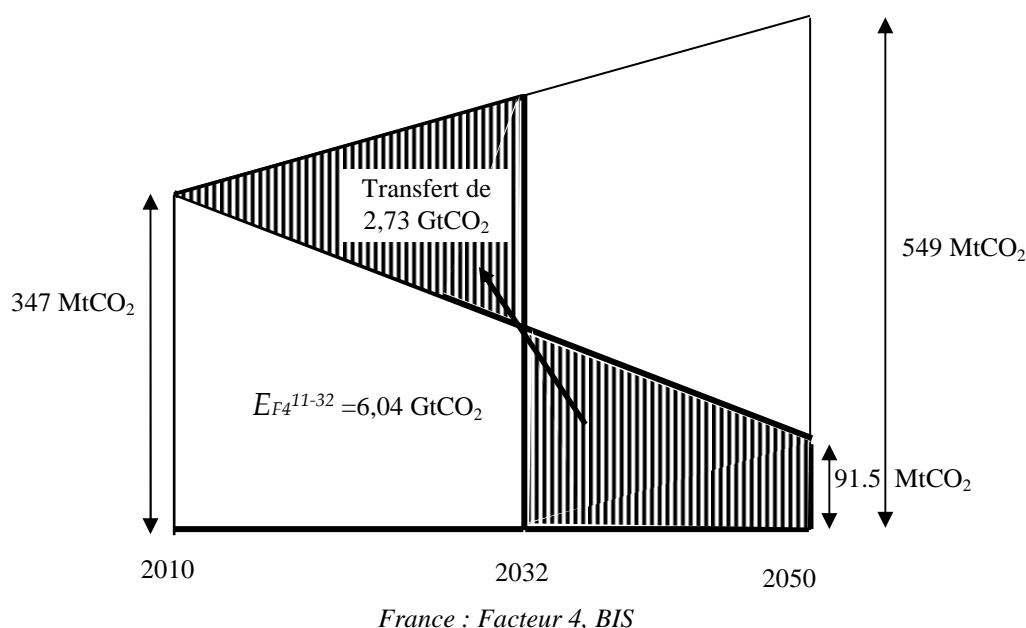


Figure 28 : Une stratégie de « Facteur 4 » alternant laisser-aller et abattement radical des émissions de CO₂ dans le cas de la France

Il s'agit là, naturellement, de valeurs limites résultant de choix qui ne sont pas plausibles car ils ignoreraient l'autre partie du calcul, les coûts de réduction des émissions qui sont fortement croissants avec le taux de réduction instantané requis. Des stratégies suffisamment réalistes d'émissions demeurant d'un niveau élevé en première moitié de période suivies d'une baisse abrupte après 2032 ne procureraient sans doute pas une diminution des dommages climatiques mondiaux imputables au pays Y supérieure à une fourchette de 10 à 20 % et seulement dans certaines hypothèses cognitivo-normatives⁴⁴.

Ces résultats du positionnement « prédictif » soulèvent toutefois un problème de cohérence entre le comportement physique de laisser-aller des émissions jusqu'en 2032 sur leur trend BAU et le niveau élevé de la valeur actuelle de la tonne de CO₂ à insérer dans les décisions économiques : au moins 53 €/ tCO₂ en 2010. En fait l'évolution du prix du carbone devrait être recalibrée pour obtenir la trajectoire heurtée voulue. Cela impliquerait de reconsidérer les conventions méthodologiques initialement adoptées : une

⁴⁴ Un test sur la configuration « 290, {g=2%}, {r=2.1%} » dans le cas de la France met en évidence des gains s'étageant de 0% à 19% selon les scénarios et les positionnements cognitifs, pour une stratégie de laisser aller des émissions jusqu'en 2032 suivie d'un arrêt total des émissions entre 2032 et 2050. Ces gains sont significatifs avec la base B1 et d'autant plus grands que le scénario de référence décrit un niveau élevé de concentration des GES et de dommages climatiques.

valeur uniforme du taux d'actualisation sur toute la période 2011-2050 et en particulier pour la sous-période 2011-2032 ; le rôle pivot de la valeur de 100 €/ tCO₂ en 2030. En effet la valeur seuil de 53 euros est le résultat direct de l'application à cette valeur de 100 euros en 2030 d'un taux uniforme d'actualisation compatible avec le choix de la cible du « Facteur 4 ». Le niveau d'une contribution carbone ou le prix de marché du quota sur l'ETS devrait être maintenu de 2011 aux alentours de 2030 à un niveau bien inférieur aux valeurs précédemment identifiées. Le prix courant des quotas de CO₂ (moins de 5 € la tonne) sur l'ETS pourrait retrouver dans ce contexte une validité initiale si et seulement si, par d'autres moyens, notamment d'autres signaux économiques, la garantie était obtenue qu'aux alentours de 2030 tous les moyens adéquats seraient disponibles pour réaliser un niveau zéro d'émissions jusqu'en 2050. Quelles solutions techniques et institutionnelles plausibles permettraient d'apporter une telle garantie ?⁴⁵

L'autre problème, qui n'existe pas pour un positionnement prédictif résulterait de la généralisation de ce comportement d'émissions massives en première partie de période 2011-2050. C'est ce que prend en compte le positionnement « kanto-millien ».

8.2. L'universalisme kanto-millien : provoquer un saut initial d'ambition sur la voie de la décarbonisation

L'exigence de cohérence normative entre politique nationale et politique mondiale dont « l'universalisme kanto-millien » est porteur impose de considérer les effets d'une généralisation mondiale de chaque option à la disposition du pays Y pour définir sa stratégie de maîtrise des émissions jusqu'en 2050. En d'autres termes, pour évaluer ces options, il faudrait supposer que le choix du pays Y serait également fait par tous les autres pays, modulo les repères donnés par les textes fondateurs du régime international du climat qui servent de cadre interprétatif à cette règle « kanto-millienne ». Si le pays Y concentrerait ses émissions de GES sur le début de période, l'universalisation du comportement serait totale : les autres pays industriels le suivraient, tandis que le groupe des pays émergents et en développement, qui n'ont à honorer aucun engagement contraignant de maîtrise de leurs émissions dans le cadre des textes Rio-Kyoto-Copenhague, adopteraient une stratégie BAU. Quels seraient les impacts de ce comportement collectif ? La concentration atmosphérique des

⁴⁵ Lors de la Conférence préparatoire sur la contribution-carbone française en juillet 2009, nombre d'intervenants demandaient à juste titre un engagement sur l'évolution du taux de taxation jusqu'en 2030, au-delà de la fixation du taux initial pour l'année 2010. Le président de la Conférence, Michel Rocard, n'a eu de cesse de souligner le caractère illusoire de cette demande, le fonctionnement démocratique s'opposant à ce qu'un impôt soit défini de façon irrévocable dans son évolution à moyen et long terme.

GES augmenterait de façon accélérée sur la période 2011-2032, ce qui se traduirait par au moins trois effets sur les dommages climatiques :

- a) ils se produiraient plus tôt, par exemple vingt ans plus tôt, si le monde atteignait en 2030 le niveau de concentration initialement envisagé pour 2050 ; leur valeur actuelle serait accrue de ce seul fait dès lors que le taux de croissance économique par habitant serait inférieur au taux d'actualisation ;
- b) les dommages physiques, et par suite économiques, seraient amplifiés car l'ampleur des dommages dépend du rythme de changement climatique – écosystèmes et hommes ont moins de temps pour s'adapter, tandis que le niveau des perturbations subies dépasse leur capacités d'absorption - et pas seulement du niveau absolu de concentration de GES atteint à terme, ce que devrait traduire une modification de la fonction de dommage pour un niveau donné de concentration atmosphérique en GES ;
- c) les dommages physiques deviendraient davantage imprévisibles car davantage liés à des aléas extrêmes « anormaux » et plus ravageurs que les « extrêmes » de référence, du fait précisément de la vitesse accrue de l'accroissement du forçage en GES ; cela entraînerait une augmentation du dommage économique pour une même valeur espérée du dommage physique, car il faudrait accroître les capacités en capital et en ressources humaines et financières mobilisées ex ante pour être en mesure de faire face à cette nouvelle donne concernant les événements extrêmes. L'hypothèse d'aversion au risque amplifierait cette augmentation.

Pour le moins, la prise en compte de ces trois effets ne plaide pas pour un abaissement de la valeur de référence de la tonne de CO₂ associée au Scénario SKM₄₄₂, déjà élevée, mais bien pour son relèvement. Sans tenter ici d'avancer des estimations précises, je propose néanmoins la conjecture que cela pourrait renchérir d'environ 30 % le dommage associé aux émissions qui seraient contrefactuellement déplacées de la fin de la période 2011-2050 vers le début. Si la valeur de référence de la tonne de CO₂ était en première approximation de 53 €, elle devrait alors être repositionnée autour des 70 € afin d'ajuster la trajectoire d'émissions en fonction des implications de l'universalisation de la règle de comportement. Pour l'universalisme « kanto-millien », qui lie contrefactuellement les stratégies de tous les pays contrairement à l'altruisme cosmopolitique « prédictif », la concentration de l'engagement des budgets d'émissions de tous les pays sur le début de la période 2011-2050 aurait pour effet d'amplifier les dommages climatiques en rapprochant leur occurrence et en accentuant leur brutalité, même si à plus long terme la variable déterminante des changements physiques ultimes demeure le budget d'émissions cumulées. Ainsi, dans le cadre de l'universalisme « kanto-millien », plus les émissions sont réalisées de façon précoce, plus le dommage climatique engendré et imputable au pays Y et aux autres s'accroît, alors que l'inverse se produit dans le cadre de l'altruisme cosmopolitique « prédictif ».

Alors que le cible du « Facteur 4 » se satisfaisait d'une ambiguïté éthique entre les deux cadres de référence, les raisonnements applicables au choix d'une trajectoire de réduction des émissions demande une clarification. La cohérence avec les choix politiques internationaux faits dans la décennie 90 (approbation de la convention sur le climat en 1992 et celle du protocole de Kyoto en 1997) plaide pour que le cadrage de « l'universalisme kantien » soit retenu. En revanche la cohérence avec les choix faits depuis la Conférence de Copenhague de 2009 voudraient que la préférence soit donnée à « l'altruisme cosmopolitique prédictif ». Quelle fidélité prévaudra à l'avenir ? La conférence sur le climat qui se tiendra à Paris en décembre 2010 sera manifestement le moment d'un choix décisif, non seulement pour les objectifs à long terme, mais pour la manière d'aborder la transition pour les décennies à venir.

En tout état de cause, quelle que soit le cadrage éthique retenu, il faudra rompre avec l'application stricte d'une règle d'Hotelling centrée sur les seuls coûts de réduction des émissions car elle ne tient pas compte de l'incidence de la date d'émission sur le dommage additionnel engendré.

Chapitre 9

Leçons de méthode et conclusions

L'étude de l'articulation entre choix nationaux et scénarios mondiaux permet de tirer des enseignements sur deux plans : celui de la méthode d'évaluation d'enjeux à très long terme touchant à des biens collectifs planétaires et celui, plus concret, des politiques climatiques nationales pour un pays comme la France.

Concernant la substance de la politique climatique, le résultat de plus éclatant est la fragilité cognitivo-éthique de la cible du « Facteur 4 ». Il s'agit là d'un objectif en rupture avec la manière dont les choix collectifs sont opérés au sein des États nationaux et par une société internationale d'États souverains. Il faut en effet postuler l'adhésion des dirigeants et des peuples à un « altruisme cosmopolitique » exigeant ou à un « universalisme kantomillien » pour justifier cette cible, alors même que ces positionnements éthiques s'écartent considérablement des fonctionnements politiques institués.

Sur le plan théorique, la leçon générale la plus importante de l'évaluation qui a été présentée est celle-ci : les recommandations de politique nationale touchant à une menace pesant sur un bien collectif planétaire dépendent considérablement du mode de raisonnement jugé valide pour articuler choix nationaux et évolutions mondiales. Ce mode d'articulation combine un positionnement cognitif et des choix éthico-normatifs. Dans le cas du changement climatique, c'est le choix du cadre normatif qui a l'effet quantitatif direct le plus massif sur la valorisation des dommages imputables à un pays puisque la fourchette de valeurs obtenues pour le dommage associé à l'émission d'une tonne de GES se situe dans un rapport de 1 à 2000 environ. Le positionnement cognitif exerce une bien moindre influence sur le niveau de cette valeur mais oppose radicalement les logiques de raisonnements applicables aux choix relatifs à la trajectoire de maîtrise des émissions sur la période 2011-2050.

Une application économique de cette leçon générale est de faire valoir les conditions de cohérence logique qui pèsent sur le choix des moyens et

instruments d'une politique du fait des positionnements normatifs et cognitifs retenus pour justifier l'objectif ou la cible. C'est l'hypothèse de séparabilité à la base des démarches « coût-efficacité » qui demande à être sérieusement encadrée par l'enveloppe de justification de l'objectif. On ne peut pas dire : quelque soit l'objectif, il faut et on peut choisir les moyens les plus efficaces économiquement, sans avoir à vérifier que la nature ou les impacts desdits moyens soient compatibles avec les raisonnements et conditions qui ont présidé au choix de l'objectif.

Ainsi les termes de la justification de la cible du « Facteur 4 » en 2050 s'imposent-ils comme conditions logiques d'exercice des choix dérivés lors des séquences suivantes de décision, notamment celles qui portent sur la détermination d'une trajectoire de réduction des émissions. Dans l'examen *ex ante* de choix emboîtés, l'effet de cliquet permettant d'oublier ce qui fait qu'on en est là, au milieu d'une séquence de choix, n'est pas licite ; les problèmes de décision ne sont pas indépendants et les compteurs de la justification ne sont pas remis à zéro. Les conditions d'existence des problèmes de décision dérivés, comme peut l'être la détermination d'un parcours vers un objectif donné, pèsent comme une contrainte logique sur l'exercice de ces choix dérivés. Ne pas en tenir compte, ou violer délibérément cette contrainte ne peut qu'anéantir les résultats obtenus ou invalider les recommandations faites, comme sont anéanties les démonstrations mathématiques ratées qui, à un moment de leurs enchaînements, sont contraires à l'une de leurs prémisses.

Dans le cas du problème climatique, il a été montré que seuls un « altruisme cosmopolitique prédictif » d'un niveau élevé et « l'universalisme kanto-millien » pouvaient soutenir la cible du « Facteur 4 ». Ces deux cadrages normatifs impliquaient alors de reconnaître des valeurs caractéristiques d'un niveau éloigné des valeurs qui ont cours ou de ce qui est préconisé pour la bonne gestion publique : une valeur actuelle en 2010 pour le dommage imputable par tonne de CO₂ à un pays comme la France d'au moins 53 € ; un taux d'actualisation d'au plus 3,25 %, non seulement inférieur aux taux habituellement considérés par les économistes, mais également inférieur au taux recommandé pour les choix publics d'infrastructures en France (Commission Lebègue, 2005). Encore cet écart est-il constaté indépendamment d'une prise en compte explicite des dimensions du risque et de l'incertitude. Cependant, il a été montré combien « l'universalisme kanto-millien » et « l'altruisme cosmopolitique prédictif » conduisaient à des préconisations opposées quant à la répartition intertemporelle d'un budget pluridécennal d'émissions entre le début et la fin de la période 2011-2050, sans qu'aucun des deux ne puisse se satisfaire d'une simple application de la règle d'Hotelling, qui avait été dégagée pour l'exploitation optimale de ressources non renouvelables. Ce résultat additionnel prenait en compte l'incidence de la date d'émission des GES sur le niveau de dommages climatiques imputables au pays, élément

qui avait été d'abord écarté de l'examen de la justification de la cible du « Facteur 4 » en 2050.

Par ailleurs, la recherche d'une façon non arbitraire de clôturer une évaluation intertemporelle des dommages sur un horizon déterminé a permis de faire valoir l'existence d'arguments solides pour invalider l'usage du concept de dommages pour des sujets humains dont l'identité même serait inséparable de ce que l'analyste serait tenté de qualifier de « dommages ». Concrètement, un exercice d'évaluation des conséquences à long terme des choix présents qui est mené en recourant à la valorisation des dommages à venir devrait s'arrêter au plus tard une centaine d'années après la fin de la période d'action envisagée, si l'on s'accorde pour considérer que la centaine d'années décrira encore l'horizon de vie terrestre des sujets humains durant le XXI^e siècle.

Cette limite ne met pas un terme à toute exploration du devenir de la société humaine et de son environnement à plus long terme, mais interdit de l'entreprendre à partir de ce concept de dommages. Elle n'interdit pas non plus à quiconque de vouloir exercer une responsabilité pour ce devenir à long terme, mais elle oblige à revoir les termes dans lesquels cette responsabilité est pensée.

ANNEXE 1 :

Notations et relations

1. Notations

- $B1$, base d'imputation des dommages climatiques mondiaux à un pays Y en proportion du poids de sa contribution à l'accroissement du stock atmosphérique de GES atteint en 2050 via ses émissions 2011-2050,
- $B2$, base d'imputation des dommages climatiques mondiaux au pays Y en proportion du poids de ses émissions 2011-2050 dans les émissions mondiales cumulées sur trois siècles (1750-2050),
- $B3$, base d'imputation des dommages climatiques mondiaux au pays Y en proportion du poids de ses émissions 2011-2050 dans le total des émissions mondiales estimées sur la même période 2011-2050 dans le cadre de différents scénarios,
- $E_{Y\lambda}^{11-50}$, le budget d'émissions de CO_2 du pays Y sur la période 2011-2050 selon sa stratégie λ ,
- $E_W^{1750-2050}$, émissions cumulées mondiales de CO_2 entre 1750 et 2050, représentant les émissions historiques d'origine anthropique,
- $K_{CO_2}^{S_j n}$, la concentration atmosphérique de CO_2 atteinte à l'année n dans le cadre du scénario S_j ,
- $K_{CO_2}^{10}$, la concentration atmosphérique de CO_2 atteinte en 2010,
- $K_{GES}^{S_j n}$, la concentration atmosphérique en GES atteinte à l'année n dans le cadre du scénario S_j ; $K_{CO_2}^{S_j n}$ en est une part prépondérante,
- K_{GES}^{10} , la concentration de GES atteinte en 2010,
- $\Delta K_{Y\lambda}^{11-50}$ la quantité de CO_2 ajoutée, en termes absolus, par les émissions 2011-2050 du pays Y et incluse dans le stock atmosphérique de CO_2 de 2050,
- S_j : scénarios mondiaux j de concentration en GES. À noter les trois scénarios de référence S_{450} (450 ppm), S_{550} (550 ppm) et S_{1000} (1000 ppm). Les autres scénarios sont également désignés par leur concentration en GES j . Ces scénarios peuvent en outre être qualifiés par le positionnement cognitif qui les sous-tend : S^p pour le « prédictif », S^t pour le « thomiste », S^s pour le « symétrique », S^{KM} pour le positionnement « kanto-millien »,

- R_i , taux de rémanence atmosphérique du CO₂ en fonction de la concentration atmosphérique i . Jusqu'à 550 ppm, $R_{550} = 0,45$; de 551 à 750 ppm, $R_{750} = 0,475$; de 751 à 1000 ppm, $R_{1000} = 0,525$,
- R_i^n , taux de rémanence atmosphérique du CO₂ en fonction de la concentration atmosphérique i atteinte à l'année n ,
- D_W^n , la valeur actuelle des dommages climatiques totaux attendus comme résultat du niveau de concentration i des GES atteint à l'année n en fonction du taux d'actualisation r choisi par le pays Y et du paramètre g , taux de croissance / hab. à l'échelle mondiale,
- D_W^{Sj50} , la valeur actuelle des dommages climatiques totaux entraînés par le niveau de concentration atmosphérique de GES atteint en 2050 dans le cadre du scénario S_j en fonction du taux d'actualisation r choisi par le pays Y et du paramètre g , taux de croissance / hab à l'échelle mondiale,
- D_W^{10} , la valeur actuelle des dommages climatiques totaux entraînés par le niveau de concentration atmosphérique de GES déjà atteint en 2010 ; cette valeur dépend de l'horizon temporel et du taux d'actualisation,
- $^{B_x}D_{Y\lambda}^{Sj11-50}$, la valeur actuelle des dommages climatiques totaux imputables aux émissions 2011-2050 du pays Y en fonction de sa stratégie λ , du scénario S_j et de la base B_x $\{x= 1, 2, 3\}$, en supposant que la contribution de ces émissions s'ajoute à la concentration en GES atteinte en 2050 ; cette valeur dépend également du cadrage normatif $f(.)$,
- $^{B_x}D_{ui}^n$, la valeur actuelle unitaire des dommages climatiques, calculée par tonne de CO₂ émise à l'échelle mondiale, en fonction de la concentration atmosphérique en GES i atteinte à l'année n et du choix de la base B_x ,
- $^{B_x}D_{Y\lambda u}^{Sj11-50}$, la valeur actuelle du dommage climatique unitaire imputable au pays Y par tonne de CO₂ émise en fonction du cadrage normatif $f(.)$, du taux d'actualisation r , de la stratégie d'émissions λ de Y sur la période 2011-2050, de la base B_x et de la concentration atteinte en 2050 dans le cadre du scénario S_j ,
- $f(D_W^{Sj50})$, fonction à caractère normatif définissant la part de la valeur actuelle des dommages climatiques mondiaux que le pays Y reconnaît comme base légitime d'imputation ; cette fonction exprime le positionnement normatif de ce pays,
- g : taux de croissance annuel du PIB / hab.,
- r : taux d'actualisation,
- t : horizon de l'évaluation, en nombre d'années,
- α_i : dommage climatique annualisé correspondant au niveau de concentration i , formulé en pourcentage du PIB mondial annuel,
- PIB_W^{10} : valeur du PIB mondial en 2010,

- $B_x V_{Y\lambda mu}^{S_j 11-50}$, valeur moyenne unitaire du dommage climatique imputable au pays Y pour ses émissions de GES sur la période 2011-2050 en fonction de sa stratégie λ , des scénarios mondiaux S_j et de la base B_x .

2. Fonctions et formules

$$\Delta K_{Y\lambda}^{11-50} = R_i^{50} * E_{Y\lambda}^{11-50} \quad (1)$$

$$D_{Wi} = [(1+g)/(g-r)] [((1+g)/(1+r))^t - 1] \alpha_i PIB_{W^{10}} \quad (2)$$

$$D_{Yu}^{10} = f\{D_W^{K_{GES}^{10} + \Delta K_{Y\lambda}^{11-50}}\} * (1 / K_{CO_2}^{10} + \Delta K_{Y\lambda}^{11-50}) * (1 / 17,31) \quad (3)$$

$$V_{Y\lambda mu} = 0,5(D_{Y\lambda u}^{10} + D_{Y\lambda u}^{50}) \quad (4)$$

$$B^1 D_{Y\lambda u}^{S_j 11-50} = (R_i^{50} / K_{CO_2}^{S_j 50}) * f(D_W^{S_j 50}) \quad (5)$$

$$B^1 V_{Y\lambda mu}^{S_j 11-50} = 0,5(B^1 D_{Y\lambda u}^{10} + B^1 D_{Y\lambda u}^{S_j 11-50}) \quad (6)$$

$$B^2 D_{Y\lambda u}^{S_j 11-50} = (1 / E_W^{1750-2050}) * f(D_W^{S_j 50}) \quad (7)$$

$$B^2 V_{Y\lambda mu}^{S_j 11-50} = 0,5(B^2 D_{Y\lambda u}^{10} + B^2 D_{Y\lambda u}^{S_j 11-50}) \quad (8)$$

$$B^3 D_W^{S_j 11-50} = D_W^{S_j 50} - D_W^{10} \quad (9)$$

$$B^3 D_{Y\lambda u}^{S_j 11-50} = (1/E_W^{11-50}) * f(B^3 D_W^{S_j 11-50}) \quad (10)$$

$$B^3 V_{Y\lambda mu}^{S_j 11-50} = 0,5(B^3 D_{Y\lambda u}^{10} + B^3 D_{Y\lambda u}^{S_j 11-50}) \quad (11)$$

$$D_W^{S_j i n} = h(K_i) = \alpha_i PIB_{W^n}, \text{ avec } \alpha_i = 0,315 (\Delta\theta_i)^2, i : \text{niveau de concentration de GES et } n : \text{année considérée} \quad (12)$$

ANNEXE 2

Les scénarios : hypothèses et données complémentaires

1. La transformation des émissions de GES en concentrations atmosphériques

Les pays peuvent agir directement sur leurs émissions de GES mais ce sont les concentrations atmosphériques qui importent pour l'évolution climatique. Il faut donc pouvoir transformer des données d'émissions en données sur les concentrations. Cette transformation dépend de multiples processus d'échanges entre atmosphère, océans et écosystèmes terrestres, au point que l'idée de durée de vie atmosphérique est considérée comme dénuée de sens par les spécialistes⁴⁶ pour le CO₂, alors qu'elle est pertinente pour d'autres gaz-traces, comme le méthane, soumis à des phénomènes de décomposition chimique assez rapides (la décennie). Deux repères sont néanmoins très utiles :

(a) La proportion d'émissions de CO₂ demeurant dans l'atmosphère s'est maintenue de façon constante au taux de 45 % durant les 50 dernières années (Ballantyne et al., 2012), alors même que le niveau des émissions planétaires avait fortement augmenté. Cela laisse augurer de processus assez robustes de recyclage du CO₂. Toutefois on s'attend à ce que ce taux s'élève à 55 % pour des scénarios de concentration élevés, manifestant une dégradation de la capacité des océans et des écosystèmes terrestres à absorber le carbone atmosphérique. Dans l'évaluation proposée un taux unique de 45 % a été utilisé pour déterminer les niveaux de concentration atmosphérique jusqu'en 2050, et ce quels que soient les scénarios car, à cet horizon, les concentrations anticipées ne devraient pas dépasser le niveau des 541 ppm. Toutefois, pour déterminer les budgets-carbone associés à chaque scénario de long terme (au-delà de 2050), la méthode suivie a

⁴⁶ Le géophysicien Archer (2008) proposait la représentation suivante : les trois quarts du CO₂ auraient une durée de vie atmosphérique de 200 à 300 ans, tandis que le dernier quart pourrait être considéré comme demeurant dans l'atmosphère pour l'éternité.

consisté à adopter un taux variable par tranches de valeurs de concentration atteintes, soit 45 % en dessous d'une concentration de 550 ppm, puis un taux de 47,5 % entre 550 et 750 ppm, et enfin un taux de 52,5 % pour les niveaux de concentration compris entre 750 et 1000 ppm.

(b) Quel que soit le niveau choisi comme objectif de concentration de GES à long terme, nécessairement dominé par le comportement du CO₂, la stabilisation à ce niveau demande que les émissions nettes d'origine anthropique soient un jour ramenées à zéro. Par exemple les simulations faites par Nordhaus (2010, p. 11723) avec son modèle RICE indiquent qu'un scénario de maintien de l'accroissement de la température moyenne en dessous de 2°C imposerait d'atteindre le niveau zéro d'émissions nettes mondiales en 2075. Dans la même veine Anderson et Bows (2011, p. 37) présentent des scénarios dans lesquels les pays industriels identifiés dans l'Annexe 1 de la Convention sur le climat devraient avoir procédé à une décarbonisation complète de leur système énergétique d'ici 2050. On trouve également dans le rapport du GIEC de 2007 l'estimation suivante : en admettant que les émissions nettes d'origine anthropique soient définitivement nulles à partir de 2100 et que le pic de concentration atmosphérique de CO₂ soit de 750 ppm, il faudrait de 100 à 400 ans pour que cette concentration revienne à une valeur cible de 560 ppm, ou environ 900 ans pour qu'elle revienne en-dessous de la valeur-cible de 450 ppm, ce qui correspondrait alors à un taux moyen d'abaissement de 1/3 de ppm par an (IPCC, TS, 2007, p. 77-78). Le basculement vers des sources d'énergie non-fossiles se présente donc comme une nécessité incontournable, même si ce basculement peut être composé avec des politiques d'efficacité énergétique et le développement de la capture-séquestration du carbone dans les centrales thermiques.

Ceci étant, il reste à régler la façon d'intégrer les émissions de CO₂ et des autres GES dans les bilans quantifiés. Ces autres GES ont un comportement hétérogène du point de vue de la durée de vie qui rend peu fiables les représentations synthétiques de leur processus d'accumulation. La solution que j'ai retenue consiste à centrer l'analyse quantitative de l'accumulation de GES sur le CO₂ ; toutefois le dommage climatique est bien évalué comme une fonction de l'ensemble des GES. À cet effet, il est postulé que ces GES non-CO₂ représentent de façon nette pour chaque scénario de concentration considéré un montant additionnel allant de 15 ppm pour les concentrations « basses » de CO₂ (de 389 ppm en 2010 jusqu'au seuil de 550 ppm), à 20 ppm pour les concentrations les plus élevées (autour de 1000 ppm). Cette estimation tient compte des contributions positives du méthane, du protoxyde d'azote et d'autres GES, mais également des contributions négatives des aérosols acides.

2. Quelle approche économique pour l'évaluation des dommages encourus ?

L'approche économique du changement climatique connaît depuis une vingtaine d'années trois modalités principales se distinguant par l'abord de l'incertitude multiforme qui affecte ce dossier. La première, longtemps la plus influente, retient du diagnostic scientifique les valeurs centrales des fourchettes proposées pour les principales variables, sachant que ces fourchettes pour l'accroissement des températures moyennes de la basse atmosphère demeurent larges à la fois pour chaque scénario et au total, ce qui laisse la voie ouverte à la possibilité d'évolutions « extrêmes ». Les évaluations proposées par William Nordhaus (1991 ; 1992 ; 2000 ; 2010) depuis le début des années 90 symbolisent bien cette première modalité, sans en avoir le monopole.

La seconde centre son attention sur les stratégies d'arbitrage à moyen terme à partir des perspectives d'apprentissage (science du climat, nouvelles technologies) et de résilience des sociétés face à la levée future d'incertitudes critiques, en tenant compte des inerties dans les trajectoires technologiques et économiques. Les travaux de Manne et Richels (1992, 1995), Ulph and Ulph (1997), Ha-Duong et al. (1997) et Ha-Duong (1998) notamment ont exploré cette seconde modalité où irréversibilité climatique et irréversibilité des investissements et des réorientations technologiques majeures jouent en miroir. La prévention de l'irréversibilité dommageable est sollicitée dans le sens soit de l'évitement de l'investissement prématuré dans des formes d'énergie à faible contenu en carbone et de la mise au rebut anticipée et coûteuse d'un capital encore productif, soit de politiques immédiates et énergiques de réduction des émissions pour limiter les risques que l'humanité soit confrontée ultérieurement à la révélation de perspectives climatiques très sérieuses qui obligerait à transformer l'appareil de production et les infrastructures en peu de temps pour un coût en bien-être très élevé pour les générations qui auraient à le faire.

Cette modalité présente plusieurs avantages : elle déplace la motivation d'une politique de l'effet de serre à moyen terme, qui aurait moins pour objet direct d'optimiser l'impact climatique que d'introduire l'idée de précaution dans la gestion des dynamiques technologiques et économiques qui pourraient être sévèrement affectées par des chocs et des réorientations brutales ; elle enrichit l'analyse et le contenu des options politiques en intégrant les dimensions de l'information et de la recherche scientifique et technique ; les idées d'irréversibilité et d'inertie ajoutent du réalisme à l'appréhension des dynamiques économiques considérées. Toutefois la symétrie des arguments sur l'irréversibilité et sur l'apprentissage touchant respectivement la dynamique climatique et la dynamique économique et sociale ne permet pas d'obtenir des conclusions nettes de portée générale qui puissent véritablement structurer l'analyse du problème stratégique de l'articulation entre choix nationaux et scénarios mondiaux.

La troisième modalité s'intéresse aux possibles évolutions extrêmes caractérisées par une faible probabilité et des conséquences cataclysmiques, et place l'évaluation dans le contexte de la recherche de modèles aptes à les représenter et de la juste attitude à avoir face à de tels risques. Par exemple, on peut décider de donner prise à une logique du pire en calant systématiquement les évaluations sur la borne supérieure des valeurs de la fonction de réponse climatique (correspondance entre le niveau de concentration atmosphérique des GES et le niveau d'accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère) retenues par le GIEC (2007) (cf. la figure 1 du chapitre 2). On peut aussi changer le cadre d'évaluation lui-même en suivant la voie tracée par Martin Weitzman (2009, 2010). Pour ce dernier, la possibilité d'évolutions catastrophiques majeures, comme une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère dépassant à long terme les 10°C devrait conduire à renoncer à la perspective « standard » d'optimisation fine du bien-être transgénérationnel. Aux calculs coûts-bénéfices actualisés il faudrait substituer la recherche d'actions relevant « d'une assurance anti-catastrophe », y compris en développant un potentiel de géo-ingénierie à action rapide, face à un tableau des dommages possibles qui est non borné et qui peut se révéler apocalyptique. Dans ce contexte Scott Barrett (2008) a notamment fait remarquer que cette option de géo-ingénierie n'exigeait pas les mêmes efforts de coordination internationale qu'une politique de réduction des émissions de GES : qu'il s'agisse de disséminer des substances chimiques ou métalliques dans l'atmosphère ou dans les océans, d'envoyer des équipements dans l'espace pour moduler le rayonnement solaire touchant la Terre ou d'inventer de nouveaux capteurs terrestres du CO₂ atmosphérique dotés d'une grande capacité de fixation du carbone, ces actions seraient accessibles à une initiative unilatérale d'une grande puissance⁴⁷.

Toutefois, vouloir empêcher la réalisation du pire ne permet pas de fonder la stratégie de lutte contre l'effet de serre d'un pays considéré isolément, hormis les cas évoqués par Barrett qui relèvent des options ouvertes en dernière extrémité pour deux ou trois grandes puissances. Sauf à faire le pari déraisonnable du laisser-aller reposant sur la croyance ferme en la disponibilité future d'une géo-ingénierie efficace, la prise en compte du scénario du pire ne permet pas à un pays qui doit décider de son action au sein d'un régime international faiblement coordonné de choisir une cible de réduction de ses émissions à moyen terme et la trajectoire pour y parvenir. De plus la norme d'évitement du pire n'est pas une maxime générale d'action qui puisse être défendue en raison (Harsanyi, 1975 ;

⁴⁷ Je ne me prononce ici ni sur l'efficacité pratique, non-établie, de différentes options de géo-ingénierie, ni sur le caractère souhaitable de miser sur de telles options.

Godard, 1997, 2012)⁴⁸ : a) la focalisation sur l'évitement du pire débouche soit sur des prédicats contradictoires, soit sur une non-performativité du fait d'un nivellement des alternatives par le pire que résume l'expression tomber de Charybde en Scylla, ; b) elle est suspendue aux façons conventionnelles et quelque peu arbitraires de borner les possibles et de stabiliser des scénarios du pire ; c) elle est très éloignée des modes de comportements et des jugements ordinaires de la très grande majorité des personnes dans leur vie quotidienne et n'est pas concrètement et politiquement crédible de ce fait.

Pour examiner le problème de l'articulation entre choix nationaux et scénarios mondiaux, c'est donc la première modalité, la plus classique, de l'évaluation économique qui a été retenue.

3. Les valeurs numériques reliant concentrations en GES, accroissement de température et niveau des dommages climatiques

Les correspondances que j'ai retenues combinent l'évaluation proposée par le rapport du GIEC de 2007 pour le lien concentrations-température et l'évaluation la plus élevée proposée par Nordhaus et Boyer (2000) - la variante désignée comme Nordhaus-population - pour le lien entre accroissement de la température moyenne de la basse atmosphère terrestre et dommages climatiques entraînés. Cette dernière fonction résulte de l'agrégation d'évaluations d'abord exécutées par grandes régions du monde en retenant la population de chaque région comme facteur de pondération. Cette manière de faire empêche d'écraser l'impact sur les régions les plus pauvres du globe. L'évaluation des dommages est donnée en pourcentage annuel du PIB mondial. Les valeurs exactes utilisées sont données dans le tableau 3 pour la valeur médiane et la valeur maximale de la fonction de réponse climatique.

⁴⁸ Pour une argumentation en sens contraire, principalement fondée sur celle de John Rawls (1987) à propos du comportement raisonnable face à l'incertitude, voir Gardiner (2006).

Concentrations de GES (ppm)	403	442	446	450	470	472	483	486	489
ΔTempérature pour M	1,7	2,07	2,13	2,18	2,36	2,38	2,49	2,52	2,55
Domage mondial /M (% annuel du PIB _w)	0,91	1,35	1,43	1,5	1,75	1,78	1,95	2	2,05
ΔTempérature pour P	2,6	3,1	3,16	3,21	3,52	3,55	3,7	3,74	3,78
Domage mondial /P (% annuel du PIB _w)	2,13	3,03	3,14	3,25	3,9	3,97	4,31	4,41	4,5

Concentrations de GES (ppm)	492	496	499	503	508	511	513	530	550
ΔTempérature pour M	2,58	2,62	2,65	2,68	2,71	2,73	2,75	2,87	3
Domage mondial /M (% annuel du PIB _w)	2,1	2,16	2,21	2,26	2,31	2,35	2,38	2,59	2,84
ΔTempérature pour P	3,82	3,87	3,91	3,95	4,01	4,04	4,07	4,27	4,5
Domage mondial /P (% annuel du PIB _w)	4,6	4,72	4,81	4,91	5,06	5,14	5,22	5,74	6,38

Concentrations de GES (ppm)	685	706	732	744	787	839	888	912	1000
ΔTempérature pour M	4	4,14	4,28	4,35	4,55	4,81	5,03	5,14	5,55
Domage mondial /M (% annuel du PIB _w)	5,04	5,4	5,77	5,96	6,52	7,29	7,97	8,32	9,7
ΔTempérature pour P	6	6,17	6,38	6,5	6,8	7,22	7,6	7,76	8,43
Domage mondial /P (% annuel du PIB _w)	11,34	12	12,82	13,31	14,56	16,42	18,19	18,97	22,38

Tableau 3 : incidence dommageable attendue des différents niveaux de concentration atmosphérique de GES (valeurs médiane, M, et maximale, P, de la fonction de réponse climatique)

4. Les scénarios mondiaux

4.1. Les scénarios de base S_{450} , S_{550} , S_{1000}

Les trois scénarios de référence retenus sont qualifiés par la concentration d'équilibre de très long terme des GES : 450 ppm pour S_{450} , 550 ppm pour S_{550} et 1000 ppm pour S_{1000} . Pour tenir compte de l'asymétrie de comportement entre CO₂ et les autres GES, la méthode consiste à procéder aux calculs relatifs à l'accumulation atmosphérique de GES en retirant d'abord la part estimée des gaz non-CO₂ dans la quantité de GES à l'équilibre du scénario ainsi qu'à la date de départ des calculs, puis de les rajouter *in fine*. Cela permet de concentrer sur le seul CO₂ les calculs traduisant les concentrations en émissions cumulées et ces dernières en

concentrations. Les gaz non-CO₂ sont réintroduits à la fin dans les bilans finaux ; ils ne sont donc pas oubliés, mais traités séparément.

Le stock atmosphérique de CO₂ est déterminé à partir du niveau de concentration atmosphérique des GES. La quantité préindustrielle de ce stock, $Q_{CO_2}^N$, est évaluée à 590 GtC sur la base d'une concentration de 278 ppm en 1750 (WRI, 2012). Le montant des émissions cumulées de CO₂ d'origine anthropique entre 1750 et 2010, agrégat qui ne doit pas être confondu avec la quantité de CO₂ stockée dans l'atmosphère à une date donnée car cette dernière dépend du taux de rémanence atmosphérique du CO₂ émis, sont calculées à partir du montant de carbone accumulé entre ces deux dates, faisant passer la concentration de 278 ppm en 1750 à 389 ppm CO₂ en 2010.

Compte tenu de l'accroissement anticipé du taux de rémanence atmosphérique du CO₂, la conversion entre carbone émis et carbone stocké dans l'atmosphère a été faite en prenant un taux de 0,45 jusqu'à 550 ppm, puis un taux moyen de 0,475 entre 550 et 750 et un taux moyen de 0,525 entre 750 et 1000 ppm.

SCÉNARIOS MONDE (S _j)	S ₄₅₀ : 450 ppm M(Δθ): +2,1°C P(Δθ): +3,1°C	S ₅₅₀ : 550 ppm M(Δθ): +2,8°C P(Δθ): +4,35°C	S ₁₀₀₀ : 1000 ppm M(Δθ): +5,4°C P(Δθ): +8°C
Q _A = Q _{GES} atmosphérique (GtC)	956	1168	2124
Q _{AH} = part anthropique = Q _A - Q _N = Q _A - 590	366	578	1534
Taux de rémanence atmosphérique du CO ₂	45 %	45 %	55 %
Montant des GES non-CO ₂ à l'équilibre (ppm CO _{2e})	15	15	20
Concentration en CO ₂ à l'équilibre (ppm CO _{2e})	435	535	980
Émissions cumulées CO ₂ 1750-∞	741 GtC	1213 GtC	3109 GtC
Émissions cumulées 1750-2010	524 GtC	524 GtC	524 GtC
Budget émissions 2011-∞	217 GtC	689 GtC	2585 GtC
Émissions cumulées 2011-2050	200 GtC	311 GtC	595 GtC
Ratio émissions cumulées 2011-2050 / émissions cumulées totales 2011-∞ dans le cadre du S _j	EW ₁₁₋₅₀ = 92,2 % EW _{11-∞}	EW ₁₁₋₅₀ = 45,13 % EW _{11-∞}	EW ₁₁₋₅₀ = 23 % EW _{11-∞}

Tableau 4 : Données physiques relatives aux scénarios mondiaux de référence S_j

Le budget d'émissions de CO₂ de chaque scénario sur la période future 2011-∞ est déterminé à partir de la différence entre la concentration d'équilibre caractéristique du scénario et la concentration atteinte en 2010.

Les émissions cumulées sur la période 2011-2050 résultent de l'estimation d'une trajectoire plausible au regard de la cible finale dans les « couloirs » d'émissions donnés par tranche de valeurs d'équilibre à long terme des concentrations retenues par les scénarios du GIEC dans son rapport de 2007, tels que représentés sur la figure 4 au chapitre 4. On en déduit la part du budget d'émissions 2011-∞ de ce scénario qui est ainsi « consommée » sur la période 2011-2050.

4.2. Les scénarios de comportements symétriques

Ces scénarios sont bâtis sur l'hypothèse d'une symétrie des logiques de comportement de tous les pays.

Le scénario S_{912}^S est un scénario de concentration de GES de 912 ppm ; il repose sur l'hypothèse que des mesures « sans regret » pourraient réduire les émissions à hauteur de 14 % du budget total des émissions admissibles à long terme à partir de 2011 pour le scénario BAU (S_{1000} : 1000 ppm), et de 15 % les émissions cumulées prévues dans ce scénario pour la seule période 2011-2050. Cette estimation « réaliste » ou « prudente » peut se comparer à l'évaluation d'un potentiel annuel de 15 GtCO_{2e} de réduction d'émissions obtenu par des mesures à coût négatif en 2030, qui est mentionnée par la Banque mondiale dans son rapport 2010 sur le développement et le changement climatique (Word Bank, 2009, p.57). Avec des émissions annuelles suivant une trajectoire BAU qui s'élèveraient à 50 GtCO_{2e} à l'horizon 2030 selon le GIEC (2007), ces 15 GtCO_{2e}, repris d'une étude de McKinsey, auraient représenté un potentiel « sans regrets » de 30 % des émissions de référence.

Le scénario S_{888}^S va plus loin dans les réductions d'émissions du fait d'un taux d'actualisation plus bas, donnant un poids plus élevé aux dommages futurs. Le taux global de réduction des émissions y est de 17,9 % par rapport à S_{1000} et de 17,6 % pour la seule période 2010-2050.

Le scénario S_{839}^S suppose que chaque État détermine sa politique de maîtrise des émissions de GES en fonction de leur incidence dommageable pour l'ensemble des habitants de la planète, mais en gardant un taux d'actualisation standard (5,5 %). Le niveau de réduction des émissions totales par rapport au scénario BAU (S_{1000}) est de 25 % et de près de 23 % pour la tranche 2010-2050.

Les scénarios suivants S_{787}^S , S_{744}^S , S_{732}^S , S_{706}^S et S_{685}^S représentent des formes d'altruisme cosmopolitique, spatial et temporel, de la part de tous les pays, mais comportant des degrés variés de prise en compte des intérêts des générations futures. Cette variation de l'intensité d'altruisme intergénérationnel est représentée à l'aide de différents taux d'actualisation, de 4 % à 1,4 %. Cela se traduit par des taux différents de réduction des émissions selon les variantes, allant de 33 % à 50 % pour les

émissions totales à partir de 2011, et de 27 % à 39 % pour les émissions de la tranche 2011-2050 par rapport à S_{1000} . Le niveau de concentration de GES atteint varie alors dans une fourchette d'environ 100 ppm (entre 787 et 685 ppm), selon la force prise par l'altruisme intergénérationnel exprimé par le taux d'actualisation. Le scénario d'altruisme le plus ambitieux, S_{685}^S , est toutefois moins exigeant que les recommandations du rapport Stern (2006) qui faisait d'une cible d'environ 500 ppm le « meilleur choix » international en tenant compte à la fois du coût des dommages et du coût de la maîtrise des émissions. Cette estimation en retrait reflète la modestie des engagements obtenus entre 2006 et 2013 dans le contexte des négociations internationales sur le climat et le jugement fréquent selon lequel le rapport Stern aurait sensiblement sous-estimé le coût des politiques de réduction des émissions.

Le scénario S_{442}^{KM} résulte d'une norme de comportement qui serait considérée comme bonne par le pays Y car jugée bonne par lui en cas d'application universelle. L'existence de textes internationaux quasi-universellement approuvés en offre *a priori* une approximation satisfaisante. C'est pourquoi ce scénario est calé sur les repères donnés dans ces textes, en particulier la référence à l'évitement d'une interférence dangereuse avec le climat et le seuil limite des 2°C reconnu à la Conférence de Copenhague⁴⁹. Il conduit à une concentration d'équilibre de 442 ppm de CO₂e et requiert un taux global de réduction des émissions de 93 % par rapport à S_{1000} à partir de 2011. Le budget total d'émissions de CO₂ admissibles à compter de 2011 serait réduit à 656 GtCO₂ (soit 179 GtC) et les émissions nettes de CO₂ devraient en fait être nulles à partir de 2050.

⁴⁹ Qu'une limitation de l'accroissement de température à 2°C permette d'éviter une interférence dangereuse avec le climat n'est pas accepté par tous et notamment par les avocats d'une cible de 350 ppm. C'est le cas de l'équipe de James Hansen, comme cela a été précédemment noté. Dans sa synthèse récente sur l'évaluation du danger climatique cette dernière (2013, p. 15) écrit : *"Evidence presented (...) makes clear that 2°C global warming would have consequences that can be described as disastrous"*. Se contenter de cet objectif des 2°C ferait sortir la planète Terre des conditions climatiques de l'Holocène qui ont permis l'essor de l'humanité depuis 10 000 ans.

ANNEXE 3

La valeur du dommage imputable, par tonne de CO_{2e}, aux émissions de GES d'un pays en fonction des scénarios mondiaux et des cadrages cognitivo-normatifs

Configuration 140-M-B1 pour g = 2 %

140 M B1 g=2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)	Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
		Rapport normatif au monde	V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀			
Egocentrisme r = 5,5 %		0,02	0,02	0,03	[1]	0,02 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,03 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %		0,1	0,1	0,1	[4]	0,1 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,1 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %		2	2	3	[7]	2 [8]	S ^S ₈₃₉ : 3 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 %		3	4	5	[10 _a]	3 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 4 [12 _a]	46
r = 3,25 %		5	5	6	[10 _b]	4 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 6 [12 _b]	53
r = 3 %		6	6	8	[10 _c]	5 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 8 [12 _c]	55
r = 2,5 %		8	9	10	[10 _d]	7 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 9 [12 _d]	61
r = 2,1 %		15	17	20	[10 _e]	9 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 12 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂		valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030						
		r = -0,553 %						
		V _{mu} : 112						
		[13]						

Tableau 5 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 2 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V²⁰⁵⁰ et V²⁰¹⁰)

Configuration 140-M-B2 pour $g = 2\%$

140 M B2 $g=2\%$	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (\neq scénarios S^p_j)				« Thomiste » (S^T_{403})	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde	V_{mu} (€/tCO _{2e})	S^p_{450}	S^p_{550}	S^p_{1000}				
Egocentrisme $r = 5,5\%$			0,07	0,07	0,08	[1]	0,07 [2]	S^S_{912} : 0,08 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique $r = 2,1\%$			0,3	0,3	0,3	[4]	0,3 [5]	S^S_{888} : 0,3 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle $r = 5,5\%$			7	7	8	[7]	7 [8]	S^S_{839} : 8 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel)			12	12	13	[10 _a]	11 [11 _a]	S^S_{787} : 12 [12 _a]	46
			16	17	18	[10 _b]	15 [11 _b]	S^S_{744} : 17 [12 _b]	53
			19	19	20	[10 _c]	18 [11 _c]	S^S_{732} : 20 [12 _c]	55
			25	25	27	[10 _d]	23 [11 _d]	S^S_{706} : 26 [12 _d]	61
			32	33	35	[10 _e]	30 [11 _e]	S^S_{685} : 34 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S^{KM}_{442}			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 $r = 0,91\%$ V_{mu} : 83 [13]						

Tableau 6 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage
 climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ;
 croissance économique/tête 2 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ;
 approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période
 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-M-B3 pour $g = 2 \%$

140 M B3 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,1	0,1	0,1	[1]	0,1 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,1 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,4	0,4	0,4	[4]	0,4 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,4 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			9	9	10	[7]	9 [8]	S ^S ₈₃₉ : 10 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			15	16	16	[10 _a]	15 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 16 [12 _a]	46
			22	22	23	[10 _b]	21 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 23 [12 _b]	53
			25	25	26	[10 _c]	24 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 26 [12 _c]	55
			33	34	35	[10 _d]	32 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 34 [12 _d]	61
			43	44	45	[10 _e]	42 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 45 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,475 % V _{mu} : 61 [13]						

Tableau 7 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 2 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-M-B1 pour g = 2 %

290 M B1 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde	V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,02	0,02	0,03	[1]	0,02 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,03 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,2	0,2	0,3	[4]	0,2 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,2 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			2	2	3	[7]	2 [8]	S ^S ₈₃₉ : 3 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			4	4	5	[10 _a]	3 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 4 [12 _a]	46
			6	7	8	[10 _b]	5 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 7 [12 _b]	53
			7	8	9	[10 _c]	6 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 8 [12 _c]	55
			12	13	16	[10 _d]	10 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 14 [12 _d]	61
			20	22	26	[10 _e]	17 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 23 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 1,34 % V _{mu} : 76 [13]						

Tableau 8 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage
 climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ;
 croissance économique/tête 2 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ;
 approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ;
 V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-M-B2 pour g = 2 %

290 M B2 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,07	0,07	0,08	[1]	0,07 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,08 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,6	0,6	0,7	[4]	0,6 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,7 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			7	7	8	[7]	7 [8]	S ^S ₈₃₉ : 8 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			12	13	14	[10 _a]	12 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 13 [12 _a]	46
			19	20	21	[10 _b]	18 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 20 [12 _b]	53
			23	24	25	[10 _c]	22 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 25 [12 _c]	55
			38	39	41	[10 _d]	36 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 40 [12 _d]	61
			62	64	67	[10 _e]	58 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 65 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,08 % V _{mu} : 66 [13]						

Tableau 9 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 2 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-M-B3 pour $g = 2\%$

290 M B3 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)	Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀			
Egocentrisme r = 5,5 %		0,1	0,1	0,1	[1]	0,1 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,1 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %		0,8	0,8	0,8	[4]	0,8 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,9 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %		9	9	10	[7]	9 [8]	S ^S ₈₃₉ : 10 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %		16	17	17	[10 _a]	16 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 17 [12 _a]	46
		26	26	27	[10 _b]	25 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 27 [12 _b]	53
		31	32	33	[10 _c]	30 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 33 [12 _c]	55
		51	52	53	[10 _d]	49 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 53 [12 _d]	61
		83	85	87	[10 _e]	80 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 86 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂		valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,3 % V _{mu} : 63 [13]						

Tableau 10 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 2 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-P-B1 pour $g = 2 \%$

140 P B1 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde	V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,05	0,05	0,06	[1]	0,04 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,06 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,2	0,2	0,3	[4]	0,2 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,3 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			5	5	6	[7]	4 [8]	S ^S ₈₃₉ : 6 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			8	9	11	[10 _a]	7 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 10 [12 _a]	46
			12	13	15	[10 _b]	10 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 14 [12 _b]	53
			14	15	18	[10 _c]	12 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 16 [12 _c]	55
			18	20	24	[10 _d]	16 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 21 [12 _d]	61
			23	25	30	[10 _e]	20 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 27 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 0,56 % V _{mu} : 89 [13]						

Tableau 11 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 2 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V_{2050} et V_{2010})

Configuration 140-P-B2 pour g = 2 %

140 P B2 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,16	0,17	0,18	[1]	0,16 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,17 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,7	0,7	0,8	[4]	0,7 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,8 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			16	17	18	[7]	16 [8]	S ^S ₈₃₉ : 17 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			26	28	29	[10 _a]	26 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 28 [12 _a]	46
			37	38	40	[10 _b]	36 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 39 [12 _b]	53
			42	44	46	[10 _c]	41 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 45 [12 _c]	55
			56	58	61	[10 _d]	54 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 59 [12 _d]	61
			73	76	80	[10 _e]	71 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 77 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,37 % V _{mu} : 63 [13]						

Tableau 12 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 2 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-P-B3 pour $g = 2 \%$

140 P B3 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédicatif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde	V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,17	0,19	0,19	[1]	0,16 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,19 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,8	0,8	0,8	[4]	0,7 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,8 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			17	19	19	[7]	16 [8]	S ^S ₈₃₉ : 19 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			29	31	32	[10 _a]	26 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 32 [12 _a]	46
			40	43	45	[10 _b]	36 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 44 [12 _b]	53
			41	49	51	[10 _c]	41 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 50 [12 _c]	55
			61	65	68	[10 _d]	55 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 66 [12 _d]	61
			79	85	88	[10 _e]	71 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 86 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,75 % V _{mu} : 58 [13]						

Tableau 13 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 2 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-P-B1 pour g= 2 %

290 P B1 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)	Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030	
		S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀					
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,05	0,06	0,07	[1]	0,05 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,06 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,4	0,5	0,6	[4]	0,4 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,5 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			5	5	6	[7]	4 [8]	S ^S ₈₃₉ : 6 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			9	10	12	[10 _a]	8 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 11 [12 _a]	46
			14	15	18	[10 _b]	12 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 16 [12 _b]	53
			17	19	22	[10 _c]	15 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 20 [12 _c]	55
			28	30	36	[10 _d]	24 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 32 [12 _d]	61
			45	50	59	[10 _e]	39 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 52 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 1,88 % V _{mu} : 69 [13]						

Tableau 14 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 2 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-P-B2 pour g = 2 %

290 P B2 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)	Prédicatif (≠ scénarios S ^p _j)				« Thomiste » (S ^p ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030	
		S ^p ₄₅₀	S ^p ₅₅₀	S ^p ₁₀₀₀					
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,16	0,17	0,17	[1]	0,16 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,17 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			1,4	1,5	1,5	[4]	1,4 [5]	S ^S ₈₈₈ : 1,5 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			16	17	18	[7]	16 [8]	S ^S ₈₃₉ : 17 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			28	29	30	[10 _a]	27 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 30 [12 _a]	46
			44	46	48	[10 _b]	43 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 47 [12 _b]	53
			53	55	58	[10 _c]	52 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 56 [12 _c]	55
			86	89	94	[10 _d]	83 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 90 [12 _d]	61
			140	146	153	[10 _e]	136 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 148 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,98 % V _{mu} : 56 [13]						

Tableau 15 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 2 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-P-B3 pour $g = 2\%$

290 P B3 g= 2%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,18	0,19	0,19	[1]	0,16 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,19 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			1,5	1,6	1,7	[4]	1,4 [5]	S ^S ₈₈₈ : 1,7 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			17	19	19	[7]	16 [8]	S ^S ₈₃₉ : 19 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 %			30	32	34	[10 _a]	27 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 33 [12 _a]	46
			48	51	53	[10 _b]	43 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 52 [12 _b]	53
			58	62	64	[10 _c]	52 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 63 [12 _c]	55
			93	100	104	[10 _d]	84 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 101 [12 _d]	61
			152	163	170	[10 _e]	137 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 166 [12 _e]	66
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 3,25 % V _{mu} : 53 [13]						

Tableau 16 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 2 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-M-B1 pour g= 1,3 %

140 M B1 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)		Symétrie de comportement de tous les pays		Valeur actuelle pour 100 € en 2030	
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,02	0,02	0,02	[1]	0,02	[2]	S ^S ₉₁₂ : 0,02 [3]		34	
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,07	0,07	0,09	[4]	0,06	[5]	S ^S ₈₈₈ : 0,08 [6]		66	
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			2	2	2	[7]	2	[8]	S ^S ₈₃₉ : 2 [9]		34	
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			2	3	3	[10 _a]	3	[11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 3 [12 _a]		46	
			4	4	5	[10 _b]	3	[11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 4 [12 _b]		53	
			4	5	6	[10 _c]	4	[11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 5 [12 _c]		55	
			5	6	7	[10 _d]	5	[11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 6 [12 _d]		61	
			7	7	9	[10 _e]	6	[11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 8 [12 _e]		66	
			10	11	13	[10 _f]	9	[11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 12 [12 _f]		76	
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = -1,31 % V _{mu} : 130 [13]									

Tableau 17 : Valeur actuelle 2010 donnée par la France au dommage climatique imputé à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-M-B2 pour $g = 1,3 \%$

140 M B2 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,06	0,06	0,06	[1]	0,06 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,06 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,2	0,2	0,2	[4]	0,2 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,2 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			6	6	6	[7]	6 [8]	S ^S ₈₃₉ : 6 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			9	9	9	[10 _a]	8 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 9 [12 _a]	46
			12	12	13	[10 _b]	11 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 12 [12 _b]	53
			13	13	14	[10 _c]	12 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 14 [12 _c]	55
			17	17	18	[10 _d]	16 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 18 [12 _d]	61
			20	21	22	[10 _e]	19 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 21 [12 _e]	66
			32	33	35	[10 _f]	30 [11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 34 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 0,018 % V _{mu} : 99 [13]						

Tableau 18 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-M-B3 pour $g = 1,3 \%$

140 M B3 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde									
			S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,08	0,08	0,08	[1]	0,08 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,08 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,3	0,3	0,3	[4]	0,3 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,3 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			8	8	8	[7]	8 [8]	S ^S ₈₃₉ : 8 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			12	12	13	[10 _a]	12 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 13 [12 _a]	46
			16	16	16	[10 _b]	15 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 16 [12 _b]	53
			17	18	18	[10 _c]	17 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 18 [12 _c]	55
			23	23	24	[10 _d]	22 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 23 [12 _d]	61
			28	28	29	[10 _e]	27 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 29 [12 _e]	66
			43	44	45	[10 _f]	41 [11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 44 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 0,38 % V _{mu} : 93 [13]						

Tableau 19 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-M-B1 pour $g = 1,3 \%$

290 M B1 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,02	0,02	0,02	[1]	0,02 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,02 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,08	0,08	0,13	[4]	0,07 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,11 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			2	2	2	[7]	2 [8]	S ^S ₈₃₉ : 2 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 %			2	3	3	[10 _a]	2 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 3 [12 _a]	46
r = 3,25 %			4	4	5	[10 _b]	3 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 4 [12 _b]	53
r = 3 %			4	5	6	[10 _c]	4 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 5 [12 _c]	55
r = 2,5 %			6	7	8	[10 _d]	5 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 7 [12 _d]	61
r = 2,1 %			8	9	11	[10 _e]	7 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 10 [12 _e]	66
r = 1,4 %			20	22	26	[10 _f]	17 [11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 23 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 0,56 % V _{mu} : 90 [13]						

Tableau 20 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-M-B2 pour $g = 1,3 \%$

290 M B2 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,06	0,06	0,06	[1]	0,06 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,06 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,3	0,3	0,3	[4]	0,3 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,3 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			6	6	6	[7]	6 [8]	S ^S ₈₃₉ : 6 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			9	9	10	[10 _a]	9 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 10 [12 _a]	46
			12	13	14	[10 _b]	14 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 13 [12 _b]	53
			14	15	16	[10 _c]	14 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 15 [12 _c]	55
			20	21	22	[10 _d]	19 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 21 [12 _d]	61
			28	29	30	[10 _e]	26 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 28 [12 _e]	66
			62	64	67	[10 _f]	58 [11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 65 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 1,27 % V _{mu} : 77 [13]						

Tableau 21 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-M-B3 pour $g = 1,3 \%$

290 M B3 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
Rapport normatif au monde									
			S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %			0,08	0,08	0,09	[1]	0,08 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,08 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,4	0,4	0,4	[4]	0,4 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,4 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			8	8	8	[7]	8 [8]	S ^S ₈₃₉ : 8 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			12	12	13	[10 _a]	12 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 13 [12 _a]	46
			17	17	17	[10 _b]	16 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 17 [12 _b]	53
			19	20	20	[10 _c]	19 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 20 [12 _c]	55
			27	27	28	[10 _d]	26 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 28 [12 _d]	61
			37	38	39	[10 _e]	36 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 39 [12 _e]	66
			83	85	87	[10 _f]	80 [11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 86 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 1,47 % V _{mu} : 75 [13]						

Tableau 22 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputé à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; valeur médiane M de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-P-B1 pour $g = 1,3 \%$

140 P B1 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)		Symétrie de comportement de tous les pays		Valeur actuelle pour 100 € en 2030	
Rapport normatif au monde												
			S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,04	0,05	0,06	[1]	0,04	[2]	S ^S ₉₁₂ : 0,05	[3]	34	
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,1	0,1	0,2	[4]	0,1	[5]	S ^S ₈₈₈ : 0,1	[6]	66	
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			4	5	5	[7]	4	[8]	S ^S ₈₃₉ : 5	[9]	34	
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			6	7	8	[10 _a]	6	[11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 8	[12 _a]	46	
			8	9	11	[10 _b]	7	[11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 10	[12 _b]	53	
			9	10	12	[10 _c]	8	[11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 12	[12 _c]	55	
			12	13	15	[10 _d]	10	[11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 14	[12 _d]	61	
			15	16	19	[10 _e]	13	[11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 17	[12 _e]	66	
			23	25	30	[10 _f]	20	[11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 27	[12 _f]	76	
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = -0,32 % V _{mu} : 106 [13]									

Tableau 23 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 140-P-B2 pour g = 1,3 %

140 P B2 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)	Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^P ₄₀₃)	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀				
Egocentrisme r = 5,5 %		0,13	0,13	0,14	[1]	0,13 [2]	S ^S ₉₁₂ : 0,14 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %		0,4	0,4	0,5	[4]	0,4 [5]	S ^S ₈₈₈ : 0,5 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %		13	14	14	[7]	13 [8]	S ^S ₈₃₉ : 13 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %		20	21	22	[10 _a]	20 [11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 22 [12 _a]	46
		27	28	29	[10 _b]	26 [11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 28 [12 _b]	53
		30	31	33	[10 _c]	29 [11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 31 [12 _c]	55
		38	39	41	[10 _d]	37 [11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 40 [12 _d]	61
		47	48	51	[10 _e]	45 [11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 49 [12 _e]	66
		72	75	79	[10 _f]	70 [11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 76 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂		valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 1,3 % V _{mu} : 76 [13]						

Tableau 24 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 140 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V²⁰⁵⁰ et V²⁰¹⁰)

Configuration 140-P-B3 pour $g = 1,3 \%$

140 P B3 $g = 1,3\%$	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (\neq scénarios S^P_j)				« Thomiste » (S^T_{403})	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde	V_{mu} (€/tCO _{2e})	S^P_{450}	S^P_{550}	S^P_{1000}				
Egocentrisme $r = 5,5 \%$			0,14	0,15	0,16	[1]	0,13 [2]	S^S_{912} : 0,16 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique $r = 2,1 \%$			0,5	0,5	0,5	[4]	0,4 [5]	S^S_{888} : 0,5 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle $r = 5,5 \%$			14	15	16	[7]	13 [8]	S^S_{839} : 14 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) $r = 4 \%$ $r = 3,25 \%$ $r = 3 \%$ $r = 2,5 \%$ $r = 2,1 \%$ $r = 1,4 \%$			22	24	24	[10 _a]	20 [11 _a]	S^S_{787} : 24 [12 _a]	46
			29	31	32	[10 _b]	26 [11 _b]	S^S_{744} : 32 [12 _b]	53
			32	35	36	[10 _c]	29 [11 _c]	S^S_{732} : 35 [12 _c]	55
			41	44	46	[10 _d]	37 [11 _d]	S^S_{706} : 45 [12 _d]	61
			51	55	57	[10 _e]	46 [11 _e]	S^S_{685} : 55 [12 _e]	66
			79	85	88	[10 _f]	71 [11 _f]	S^S_{685} : 86 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S^{KM}_{442}			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 $r = 1,7 \%$						V_{mu} : 72 [13]

Tableau 25 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputé à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; borne supérieure de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-P-B1 pour $g = 1,3 \%$

290 P B1 $g = 1,3\%$	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (\neq scénarios S^P_j)				« Thomiste » (S^T_{403})	Symétrie de comportement de tous les pays	Valeur actuelle pour 100 € en 2030
	Rapport normatif au monde	V_{mu} (€/tCO _{2e})	S^P_{450}	S^P_{550}	S^P_{1000}				
Egocentrisme $r = 5,5 \%$			0,04	0,05	0,05	[1]	0,04 [2]	S^S_{912} : 0,05 [3]	34
Patriotisme + altruisme dynastique $r = 2,1 \%$			0,2	0,3	0,3	[4]	0,2 [5]	S^S_{888} : 0,2 [6]	66
Solidarité internationale intragénérationnelle $r = 5,5 \%$			4	5	5	[7]	4 [8]	S^S_{839} : 5 [9]	34
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) $r = 4 \%$ $r = 3,25 \%$ $r = 3 \%$ $r = 2,5 \%$ $r = 2,1 \%$ $r = 1,4 \%$			7	7	9	[10 _a]	6 [11 _a]	S^S_{787} : 8 [12 _a]	46
			9	10	12	[10 _b]	8 [11 _b]	S^S_{744} : 11 [12 _b]	53
			10	11	13	[10 _c]	9 [11 _c]	S^S_{732} : 13 [12 _c]	55
			15	16	19	[10 _d]	13 [11 _d]	S^S_{706} : 17 [12 _d]	61
			20	22	27	[10 _e]	18 [11 _e]	S^S_{685} : 23 [12 _e]	66
			45	50	59	[10 _f]	39 [11 _f]	S^S_{685} : 52 [12 _f]	76
Universalisme kanto-millien : S^{KM}_{442}			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 $r = 1,08 \%$						V_{mu} : 81 [13]

Tableau 26 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputé à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B1 : imputation sur la base de la concentration de GES de 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Configuration 290-P-B2 pour g = 1,3 %

290 P B2 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)		Symétrie de comportement de tous les pays		Valeur actuelle pour 100 € en 2030		
Rapport normatif au monde													V _{mu} (€/tCO _{2e})
			S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀								
Egocentrisme r = 5,5 %			0,13	0,14	0,14	[1]	0,13	[2]	S ^S ₉₁₂ : 0,14 [3]		34		
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,6	0,6	0,7	[4]	0,6	[5]	S ^S ₈₈₈ : 0,6 [6]		66		
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			13	14	14	[7]	13	[8]	S ^S ₈₃₉ : 14 [9]		34		
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 %			20	21	22	[10 _a]	20	[11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 21 [12 _a]		46		
r = 3,25 %			29	30	31	[10 _b]	28	[11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 30 [12 _b]		53		
r = 3 %			33	34	36	[10 _c]	32	[11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 35 [12 _c]		55		
r = 2,5 %			45	47	49	[10 _d]	44	[11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 48 [12 _d]		61		
r = 2,1 %			63	65	69	[10 _e]	61	[11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 66 [12 _e]		66		
r = 1,4 %			140	146	153	[10 _f]	136	[11 _f]	S ^S ₆₈₅ : 148 [12 _f]		76		
Universalisme kanto-millien : S ^k ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 2,08 % V _{mu} : 66 [13]										

Tableau 27 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputable à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1,3 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B2 : imputation sur la base des émissions cumulées de CO₂ sur la période 1750-2050 ; V_{mu} = moyenne de V²⁰⁵⁰ et V²⁰¹⁰)

Configuration 290-P-B3 pour $g = 1,3 \%$

290 P B3 g= 1,3%	Rapport cognitif au monde (imputation causale)		Prédictif (≠ scénarios S ^P _j)				« Thomiste » (S ^T ₄₀₃)		Symétrie de comportement de tous les pays		Valeur actuelle pour 100 € en 2030	
Rapport normatif au monde		V _{mu} (€/tCO _{2e})	S ^P ₄₅₀	S ^P ₅₅₀	S ^P ₁₀₀₀							
Egocentrisme r = 5,5 %			0,14	0,15	0,16	[1]	0,13	[2]	S ^S ₉₁₂ : 0,16 [3]		34	
Patriotisme + altruisme dynastique r = 2,1 %			0,7	0,7	0,7	[4]	0,6	[5]	S ^S ₈₈₈ : 0,7 [6]		66	
Solidarité internationale intragénérationnelle r = 5,5 %			14	15	16	[7]	13	[8]	S ^S ₈₃₉ : 16 [9]		34	
Altruisme cosmopolitique (intra et inter générationnel) r = 4 % r = 3,25 % r = 3 % r = 2,5 % r = 2,1 % r = 1,4 %			22	24	25	[10 _a]	20	[11 _a]	S ^S ₇₈₇ : 23 [12 _a]		46	
			31	33	35	[10 _b]	28	[11 _b]	S ^S ₇₄₄ : 34 [12 _b]		53	
			36	38	39	[10 _c]	32	[11 _c]	S ^S ₇₃₂ : 39 [12 _c]		55	
			49	53	55	[10 _d]	44	[11 _d]	S ^S ₇₀₆ : 53 [12 _d]		61	
			69	74	77	[10 _e]	62	[11 _e]	S ^S ₆₈₅ : 75 [12 _e]		66	
			153	163	170	[10 _f]	137	[11 _f]	S ^S ₆₈₅ :166 [12 _f]		76	
Universalisme kanto-millien : S ^{KM} ₄₄₂			valeurs d'équilibre pour 100 € / tCO _{2e} évitée en 2030 r = 1,53 % V _{mu} : 74 [13]									

Tableau 28 : Valeur actuelle 2010 donnée par un pays au dommage climatique imputé à son émission d'1t CO_{2e} (Base de calcul : 290 ans ; croissance économique/tête 1.3 % ; borne supérieure P de la réponse climatique ; approche B3 : imputation au prorata des émissions mondiales de CO₂ de 2011 à 2050 ; V_{mu} = moyenne de V^{2050} et V^{2010})

Bibliographie

- Ackerman F., E.A. Stanton, S.J. DeCanio, E. Goodstein, R.B. Howarth, R.B. Norgaard, C.S. Norman, K.A. Sheeran (2009), *The Economics of 350: The Benefits and Costs of Climate Stabilization*. Economics for Equity & Environment.
http://www.e3network.org/papers/Economics_of_350.pdf
- Ackoff R.L. (1974), *Redesigning the Future*. Englewood Cliffs (NJ), John Wiley and Sons.
- Agarwal A. and S. Narain (1991), *Global Warming in an Unequal World: A Case of Environmental Colonialism*. New Delhi, Centre for Science and Environment.
- Allen M., D. Frame, C. Huntingford, C.D. Jones, J. Lowe, M. Meinshausen & N. Meinshausen (2009), "Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne", *Nature*, **458**, 30 April, p. 1163-1166.
- Allen M., D. Frame, K. Frieler, W. Hare, C. Huntingford, C. Jones, R. Knutti, J. Lowe, M. Meinshausen, N. Meinshausen & S. Raper (2009), "The exit strategy", *Nature Reports Climate change*, **3**, May, p. 56-58.
- Anderson K. and A. Bows (2011), "Beyond 'dangerous' climate change: emission scenarios for a new world", *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **369**, p. 20-44.
- Archer D. (2008) *The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate*. Princeton University Press.
- Auverlot D., B. Barreau et J. Buba (2010), « Analyse : Copenhague ou la nouvelle donne climatique internationale », *Note de veille*, (162), Centre d'analyse stratégique, janvier.
- Ballantyne A.P., C.B. Alden, J.B. Miller, P.P. Tans & J.W.C. White (2012), "Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years", *Nature*, **488**, 2 August, p. 70-72.
- Barrett S. (2008), "The incredible economics of geoengineering", *Environmental and Resource Economics*, **39**, p. 45-54.
- Beckerman W. (2004), "Intergenerational justice", *Intergenerational Justice Review*, (2), FRFG, p. 1-5.
- Beckerman W. (2006), "The impossibility of a theory of intergenerational justice", in J.G. Tremmel (ed.), *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham, Edward Elgar, p. 53-71.

- Beckerman W. & J. Pasek (2001), *Justice, Posterity and the Environment*. Oxford, Oxford University Press.
- Birdsall N. and A. Steer (1993), "Act Now to Reduce Global Warming: But Don't Cook the Books", *Finance and Development*, **30** (1), March, p. 6-8.
- Blanchard O., P. Criqui, A. Kitous, S. Mima (2006), « Impact des politiques climatiques sur le prix du carbone et les marchés de l'énergie », *Revue d'économie financière*, (83), p. 91-113.
- Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres, (2011), *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions*. Oak Ridge (Tenn.), Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, doi 10.3334/CDIAC/00001_V2011.
- Bosetti V., C. Carraro, E. De Ciana, E. Massetti, M. Tavoni (2013), "Incentives and stability of international climate coalitions: An integrated assessment", *Energy Policy*, **55**, April, p. 44-56.
- Botzen, W.J.W. and J.C.J.M. van der Bergh (2012), « How sensitive is Nordhaus to Weitzman? Climate policy in DICE with an alternative damage function", *Economic Letters*, **117**, p. 372-374.
- Caney S. (2006), "Environmental Degradation, Reparations, and the Moral Significance of History", *Journal of Social Philosophy*, **37** (3), p. 464-482.
- Centre d'analyse stratégique, Commission Énergie (Prés. Jean Syrota) (2007), *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050. Rapport de synthèse*. Paris, Septembre.
- Centre d'analyse stratégique (2009), *La valeur tutélaire du carbone- Rapport de la Commission présidée par A. Quinet*. Paris, La documentation française, (Rapport 16-2009), avril.
- CITEPA (2012), *Rapport national d'inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto*. Paris, CITEPA, mars.
- Cline W.R. (1992), *The Economics of Global Warming*. Washington D.C., Institute for International Economics.
- Commissariat général du Plan (2001), « Annexe 1 – Prix du pétrole, prix du carbone et règle de Hotelling » in *Transports : choix des investissements et coût des nuisances. Rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux*. Paris, La Documentation française, juin, p. 147-164.
- Commissariat général du Plan (2005), *Révision du taux d'actualisation des investissements publics. Rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue*. Paris, CGP.
- Dahan A., S. Aykut , C. Buffet et A. Viard-Crétat (2010), *Les leçons politiques de Copenhague. Faut-il repenser le régime climatique ?* Paris, Koyré Climate Series (2), Février.
- Dasgupta P. (2007), "Commentary: the Stern review's economics of climate change", *National Institute Economic Review*, **199**(1), p. 4-7.

- Enting I., Kacoly D., Falk J., Clisby N., Bodman R., Settle D., (2008), *The Garnaut Climate Change Review – The Science of Stabilizing Greenhouse Gas Concentration*. CASPI & MASCOs, The University of Melbourne, April.
- European Climate Change Expert Group 'EG science' (2008), *The 2°C Target – Information Reference Document - Background on Impacts, Emission Pathways, Mitigation Options and Costs*. Brussels, July.
- European Environment Agency (2011), *Atmospheric concentration of CO₂ (ppm) in 1750-2011*. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-co2-ppm-1>
- European Commission (2011), *Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.2*. Joint Research Centre (JRC)/PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>
- Gardiner S.M. (2006), "A core Precautionary Principle", *Journal of Political Philosophy*, 14 (1), p. 33-60.
- Gardiner S.M., S. Caney, D. Jamieson and H. Shue (eds.) (2010), *Climate Ethics – Essential Readings*. Oxford University Press.
- GIEC [Équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et A. Reisinger, dir.] (2007a), *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève.
- GIEC (2007b), *Changements climatiques 2007 – Rapport de synthèse - Résumé à l'intention des décideurs*. Genève.
- Godard O. (1990), « Environnement, modes de coordination et systèmes de légitimité: analyse de la catégorie de patrimoine naturel », *Revue économique*, 41 (2), mars, p. 215-241.
- Godard O. (1997a), « L'ambivalence de la précaution et la transformation des rapports entre science et décision », In O. Godard (dir.) (1997), *Le principe de précaution dans la conduite des affaires humaines*. Paris, Éd. de la Maison des Sciences de l'Homme et INRA-Éditions, p. 37-83.
- Godard O. (1997b), « Les enjeux des négociations sur le climat. De Rio à Kyoto : Pourquoi la Convention sur le climat devrait intéresser ceux qui ne s'y intéressent pas », *Futuribles*, (224), octobre, p. 33-66.
- Godard O. (2009), « Hotelling or not Hotelling ? Comment calibrer la valeur tutélaire de la tonne de gaz à effet de serre de 2010 à 2050 ? », in Centre d'analyse stratégique, *La valeur tutélaire du carbone – Rapport de la Commission présidée par A. Quinet*. Paris, la Documentation française, (rapport 16-2009), avril 2009, p. 317-335.
- Godard O. (2010), « Circonstances de la justice et promesses pour les générations futures », *Revue Telos*, 'What Future for Future Generations ?', (IV), Fondation de Malte, novembre, p. 17-43.

- Godard O. (2011a), « La justice climatique internationale en question », in O. Godard et J.-P. Ponssard (dir.), *Économie du climat – Pistes pour l'après-Kyoto*. Palaiseau, Ed. de l'École polytechnique, p. 105-143.
- Godard O. (2011b), « Négociations sur le climat : la bifurcation opérée à Copenhague en 2009 », *Critique internationale*, (52) 2011-3, p. 87-110.
- Godard O. (2012a), *Ecological debt and historical responsibility revisited – The case of climate change*. San Domenico di Fiesole (Italy), Global Governance Programme-11, Robert Schuman Centre For Advanced Studies – European University Institute, EUI Working Papers - RSCAS 2012/46, September. <http://hdl.handle.net/1814/23430>
- Godard O. (2012b), « La politique des risques peut-elle être raisonnable ? Le principe de précaution et ses déboires », *Revue de métaphysique et de morale*, 'Qu'est-ce que vaut le principe de précaution', (4), octobre, p. 511-529.
- Godard O. et C. Henry (1998), « Les instruments des politiques internationales de l'environnement : la prévention du risque climatique et les mécanismes de permis négociables », rapport au Conseil d'analyse économique. In D. Bureau, O. Godard, C. Henry, J.-C. Hourcade et A. Lipietz, *Fiscalité de l'environnement*. Paris, La Documentation française, Collection des Rapports du CAE, juillet, p. 83-174.
- Gorgoni G. (2008), « La responsabilité comme projet. Réflexions sur une responsabilité juridique 'prospective' », in Ch. Eberhard (dir.), *Traduire nos responsabilités planétaires. Recomposer nos paysages juridiques*. Bruxelles, Bruylant, p. 131-146.
- Gosseries A. (2004a), *Penser la justice entre les générations : de l'affaire Perruche à la réforme des retraites*. Paris, Aubier (Coll. Alto).
- Gosseries A. (2004b), "Historical emissions and free-riding", in L.H. Meyer (ed.), *Justice in Time – Responding to Historical Injustice*. Baden-Baden, Nomos, p. 355-382.
- Ha-Duong M. (1998), "Quasi-Option Value and Climate Policy Choices", *Energy Economics*, **20**, p. 599-620.
- Ha-Duong M., M. J. Grubb & J.-C. Hourcade (1997), "The influence of inertia and uncertainty upon optimal CO₂ policies", *Nature*, **390**, p. 270-274.
- Hansen J., M. Sato, P. Kharecha, D. Beerling, R. Berner, V. Masson-Delmotte, M. Pagani, M. Raymo, D.L. Royer, J.C. Zachos, (2008), "Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim?", *Open Atmospheric Science Journal*, **2**, October 15, p. 217-231.
doi: [10.2174/1874282300802010217](https://doi.org/10.2174/1874282300802010217) ; [arXiv:0804.1126v3](https://arxiv.org/abs/0804.1126v3) -
Supporting material: [arXiv:0804.1135v3](https://arxiv.org/abs/0804.1135v3) - consulté le 24 avril 2009.
- Hansen J., P. Kharecha, M. Sato, V. Masson-Delmotte, F. Ackerman et al. (2013), « Assessing « Dangerous Climate Change » : Required

- reduction of Carbon Emissions to protect Young People, future Generations and Nature, *PLOS ONE*, 8, (12): e81648. doi: 10.1371/journal.pone.0081648
- Harsanyi J.C. (1975), "Can the Maximin Principle Serve as a Basis for Morality? A Critique of John Rawls's Theory", *The American Political Science Review*, **69** (2), p. 594-606.
- Hotelling H. (1931), "The economics of exhaustible resources", *Journal of Political Economy*, **39** (2), p. 137-175.
- Hourcade J.-C., P. Ambrosi, S. Hallegatte, F. Lecocq, P. Dumas, M. Ha-Duong (2003), "Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate damages", *Environmental Modeling and Assessment*, **8** (3), p. 133-147.
- IMF (2012), *World Economic Outlook - Coping with High Debt and Sluggish Growth*, Washington DC, October.
- IPCC (1992), "A3- Emissions Scenarios for the IPCC: an Update", in *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Geneva, WMO & UNEP.
- IPCC (2000), *Special report – Emissions scenarios*. Geneva, WMO & UNEP.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007 – Synthesis Report*. Geneva, November.
- IPCC (2007), "Technical Summary", in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.
- IPCC (2013), "Technical Summary", *Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Geneva, 30 September.
- Jamet S. & J. Corfee-Morlot (2009), *Assessing the impacts of climate change: a literature review*. Paris, OECD Economics Department, Working Paper No. 691.
- Jonas, H. (1990), *Le principe responsabilité. Une éthique pour la civilisation technologique*. Paris, les Éditions du Cerf.
- Laffont J.-J. (1975), « Macroeconomic Constraints, Economic Efficiency and Ethics: An Introduction to Kantian Economics », *Economica*, New Series, **42** (168), p. 430-437.
- Lecocq F. (2000), *Distribution spatiale et temporelle des coûts de politiques publiques sous incertitudes - Théorie et pratique dans le cas de l'effet de serre*. Paris, Thèse, ENGREF.
- Lecocq F. & J.-C. Hourcade (2012), "Unspoken ethical issues in the climate affair: insights from a theoretical analysis of negotiation mandates", *Economic theory*, **49** (2), p. 445-471.

- Manne A.S. and R.G. Richels (1992), *Buying Greenhouse Insurance - The Economic Costs of CO₂ Emissions Limits*. Cambridge (MA), MIT Press.
- Manne A.S. & R.G. Richels (1995), "The Greenhouse Debate: Economic Efficiency, Burden Sharing and Hedging Strategies", *The Energy Journal*, **16** (4), p. 1-37.
- Matthews H.D., N. Gillett, P.A. Scott, K. Zickfeld (2009), "The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions", *Nature*, **459**, p. 829-832.
- Matthews H.D., S. Solomon and R. Pierrehumbert (2012), "Cumulative carbon as a policy framework for achieving climate stabilization", *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **370**, p. 4365-4379.
- Morford S. (2009), "Nicholas Stern Latest Climate Expert to Endorse 350 ppm Limit", *InsideClimate News*, September 9, <http://insideclimatenews.org/news/20090909/nicholas-stern-latest-climate-expert-endorse-350-ppm-limit>
- Neumayer E. (2000), "In Defence of Historical Accountability for Greenhouse Gas Emissions," *Ecological Economics*, **33**, p. 185-92.
- Newbold S.C. (2010), "Summary of the DICE Model", *EPA/DOE Workshop Improving the Assessment and Valuation of Climate Change Impacts for Policy and Regulatory Analysis*, Washington DC, November 18-19,
- Nordhaus W.D. (1991), "To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect", *Economic Journal*, **101**, July, p. 920-937.
- Nordhaus W.D. (1992), "An optimal transition path for controlling Greenhouse Gases", *Science*, **258**, 20 November, p. 1315-1319.
- Nordhaus W.D. (2010), "Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment", *PNAS*, **107** (26), p. 11721-11726.
- Nordhaus W.D. and J. Boyer (2000), *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. Cambridge (MA), The MIT Press.
- OMM (Organisation météorologique mondiale) (2012), *Bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre*, (8), 19 novembre.
- Pacala S. and R. Socolow (2004), « Stabilization Wedges : Soling the Climate problem for the next 50 Years with current Technologies », *Science*, **305**, 13 August, p. 968-972.
- Page E.A. (2012), "Give it up for climate change: a defence of the beneficiary pays principle", *International Theory*, **4** (2), p. 300-30.
- Parfit D. (1984), *Reasons and Persons*. Oxford, Clarendon Press.
- Peters G.P., R.M. Andrew, T. Boden, J.G. Canadell, P. Ciais, C. Le Quéré, G. Marland, M.R. Raupach and C. Wilson (2013), "The challenge to keep global warming below 2°C", *Nature Climate Change*, **3**, January, p. 4-6.

- Pickering J. & C. Barry (2012), "On the concept of climate debt: its moral and political value", *Critical Review of International Social and Political Philosophy*, **15** (5), p. 667-685.
- Posner E. and D. Weisbach (2010), *Climate Change Justice*. Princeton University Press.
- Rawls J. (1987), *Théorie de la justice*. Paris, Seuil, (Coll. 'Empreintes').
- Rawls J. (1996), *Le droit des gens*. Paris, Ed. Esprit, (Coll. '10-18').
- Ricoeur P. (1991), « Postface au 'temps de la responsabilité' », in *Lectures 1. Autour du politique*, Paris, Seuil, p.270-293.
- Ricoeur P., (1995), « Le concept de responsabilité. Essai d'analyse sémantique », in *Le Juste 1*. Paris, Seuil, p. 41-70.
- Schneider S. (2009), "The worst-case scenario", *Nature*, **458**, 30 April, p. 1104-1105.
- Schwartz T. (1978), "Obligations to posterity", in R.I. Sikora and B. Barry (eds), *Obligations to Future Generations*. Philadelphia, Temple University Press, p. 3-13.
- Shue H. (2009), "Historical Responsibility: Accountability for the Results of Actions Taken", *SBSTA Technical Briefing: Historical Responsibility*, 6th Meeting of the Ad Hoc Working Group on Long Term Cooperative Action, UNFCCC, Berlin, 4 June.
- Stern N. (ed.) (2006), *The Stern Review Report: the Economics of Climate Change*. London, HM Treasury, 30 October, 603 p.
- Stewart R. & J.B. Wiener (2003), *Reconstructing Climate Policy*. Washington D.C., the AEI Press, p.44-53.
- Tol R.S.J., S. Fankhauser, R.G. Richels and J.B. Smith (2000), "How much damage will climate change do? Recent estimates", *World Economics*, **1** (4), p. 179-206.
- Tremmel J.C. (ed.) (2006), *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham, Edward Elgar.
- Ulph A. and D. Ulph (1997), "Global Warming, Irreversibility and Learning," *The Economic Journal*, **107**, p. 636-650.
- Vanderheiden S. (2008), *Atmospheric Justice – A political theory of climate change*. Oxford University press
- Weitzman M.L. (2007), "A Review of the Stern Review of the Economics of Climate Change", *Journal of Economic literature*, **45** (3), p. 703-724.
- Weitzman M.L. (2009), "On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change", *Review of Economics and Statistics*, **91** (1), February, p. 1-19.
- Weitzman M.L. (2010), « Changements climatiques extrêmes et économie », in J.-P. Touffut (dir.), *Changement de climat, changement d'économie ?* Paris, Albin Michel, p. 127-171.

World Bank (2009), *World Development Report 2010 – Development and Climate Change*. Washington DC.

World Resources Institute (1990), *World Resources 90-91 – A Guide to the Global Environment*. Oxford University Press.

World Resources Institute (2012), *Climate Analysis Indicators Tool - CAIT version 9.0*. Washington, DC: WRI. Available online at: <http://cait.wri.org>. Consulté en novembre 2012.

Table

Résumé	5
Chapitre 1 – Le problème	7
Chapitre 2 – Le contexte : vers l'introduction de la notion de budget pluridécennal de carbone par pays	11
Chapitre 3 – L'exemple français	19
Chapitre 4 – L'articulation entre stratégies nationales et scénarios mondiaux	23
Chapitre 5 – Paramètres de l'évaluation.....	43
Chapitre 6 – Résultats de l'évaluation des dommages climatiques imputables à un pays	53
Chapitre 7 – Analyse et commentaires	67
Chapitre 8 – Deux trajectoires opposées pour atteindre le « Facteur 4 » en 2050	77
Chapitre 9 – Leçons de méthode et conclusions	83
Annexe 1 – Notations et relations	87
Annexe 2 – Les scénarios : hypothèses et données complémentaires	91
Annexe 3 – La valeur du dommage imputable, par tonne de CO _{2e} , aux émissions de GES d'un pays en fonction des scénarios mondiaux et des cadrages cognitivo-normatifs	101
Bibliographie	125

L'auteur

Olivier Godard est directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique. Il mène ses travaux au Laboratoire d'économétrie de l'École polytechnique, PREG-UMR 7176 du Cnrs. Depuis 1990 il conduit en parallèle des travaux sur le changement climatique planétaire (négociations internationales, instruments de politique publique comme la taxation et les marchés de permis, justice climatique) et une réflexion sur la prise de décision en univers incertain et controversé, ce qui l'a conduit à consacrer plusieurs ouvrages et de nombreux articles au principe de précaution.

Sur le problème climatique, il a notamment publié :

« Le Rapport Stern sur l'économie du changement climatique était-il une manipulation grossière de la méthodologie économique ? », *Revue d'économie politique*, **117** (4), juillet-août 2007, p. 475-506.

"The Stern Review on the Economics of Climate Change: contents, insights and assessment of the critical debate", *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society* (S.A.P.I.E.N.S), **1**(1), February 2008, p. 23-41.

"Climate modelling for policy-making: how to represent freedom of choice and concern for future generations?", *Interdisciplinary Science Reviews*, **33** (1), March 2008, p. 51-69.

« Long terme et actualisation - La controverse suscitée par le rapport Stern sur le changement climatique », *Revue de philosophie économique*, **9**(2), décembre 2008, p. 69-91.

Avec J. Chappellaz, S. Huet et H. Le Treut (2010), *Changement climatique : les savoirs et les possibles*. Montreuil, Éditions La ville brûle, (Coll. 360).

Avec J.-P. Ponssard (dir.), *Économie du climat : pistes pour l'après-Kyoto*. Palaiseau, Ed. de l'École polytechnique, 2011.

« Négociations sur le climat : la bifurcation opérée à Copenhague en 2009 », *Critique internationale*, (52) 2011-3, juillet-septembre 2011, p. 87-110

« Chapitre 5 : Les controverses climatiques en France : la logique du trouble », in E. Zaccai, F. Gemenne et J.-M. Decroly (dir.), *Controverses climatiques. Sciences et politiques*. Paris, Presses de Sciences Po, 2012, p. 117-140.